

## **CONCOURS BLANC, mardi 16/06/2026**

### **PHYSIQUE-CHIMIE.**

**Durée : 4 heures**

#### **RAPPEL DES CONSIGNES**

- ▷ Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- ▷ Ne pas utiliser de correcteur.
- ▷ Numéroté les pages de votre copie.
- ▷ Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.

#### **Les calculatrices sont interdites.**

Lorsqu'un résultat est fourni par l'énoncé, la démarche scientifique adoptée et les calculs menant au résultat seront examinés avec une grande attention.

Les points seront attribués uniquement pour des justifications et des calculs précis et détaillés.

Les calculatrices étant interdites, une attention particulière sera portée à la réalisation des applications numériques.

Le sujet comporte 16 pages.

Les quatre parties sont largement indépendantes les unes des autres.

**Des données et aides au calcul sont disponibles en fin de sujet, page 16.**

# La planète Terre



FIGURE 1 – Photographie de la Terre par l'équipage de la mission Apollo 17 en 1972

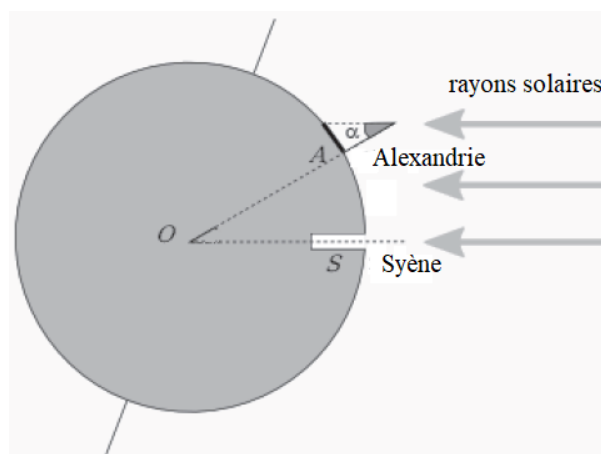
- ▷ La partie I est consacrée à la mesure des grandeurs physiques qui permettent de caractériser la planète Terre.
- ▷ La partie II aborde la thématique de la structure géologique de la Terre et des ondes sismiques.
- ▷ La partie III se focalise sur l'eau des océans.
- ▷ La partie IV s'intéresse à l'atmosphère terrestre.

## Partie I - Caractéristiques de la planète Terre

### I.A. Rayon de la Terre

Ératosthène (vers 276 - 194 av. J.-C.) propose une mesure du rayon de la Terre, supposée sphérique.

Sa méthode est la suivante : au solstice d'été à Syène (actuelle Assouan, Égypte), à midi, le Soleil éclaire le fond d'un puits. À Alexandrie (sur la côte égyptienne), le même jour à la même heure, un obélisque (vertical) projette une ombre qui permet de mesurer l'angle  $\alpha = 7^{\circ}12'$  que font les rayons du Soleil avec la verticale. Ératosthène considère que Syène est au Sud d'Alexandrie, sur le même méridien, et que la distance Syène-Alexandrie vaut 5000 stades, un stade égyptien mesurant 157,5 m.



**Q1.** Estimer le rayon  $R_T$  de la Terre grâce à la méthode d'Ératosthène. Discuter de la précision de la méthode.

## I.B. Masse de la Terre

### *I.B.1. Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un satellite*

On étudie le mouvement du centre de masse A d'un satellite, dans le référentiel géocentrique considéré comme galiléen. Ce satellite est situé à une distance  $r = OA$  par rapport au centre O de la Terre.

On fait l'approximation, dans un premier temps, que le mouvement du satellite est circulaire et on considère que la seule force qui s'applique sur le satellite est la force d'interaction gravitationnelle  $\vec{F}_G$  exercée par la Terre, de masse  $M_T$ , sur le satellite de masse  $m$ .

**Q2.** Représenter sur votre copie, sans souci d'échelle, les points O et A, le repère polaire local au point A, la trajectoire du satellite, ainsi que la force d'interaction gravitationnelle  $\vec{F}_G$  exercée par la Terre sur le satellite.

On note  $G$  la constante de gravitation universelle.

**Q3.** Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle  $\vec{F}_G$  en fonction du vecteur unitaire  $\vec{u}_r$  des coordonnées polaires, de  $G$ ,  $M_T$ ,  $m$  et  $r$ .

**Q4.** En appliquant la deuxième loi de Newton au satellite dans le référentiel géocentrique, établir que la norme de sa vitesse est constante et vaut

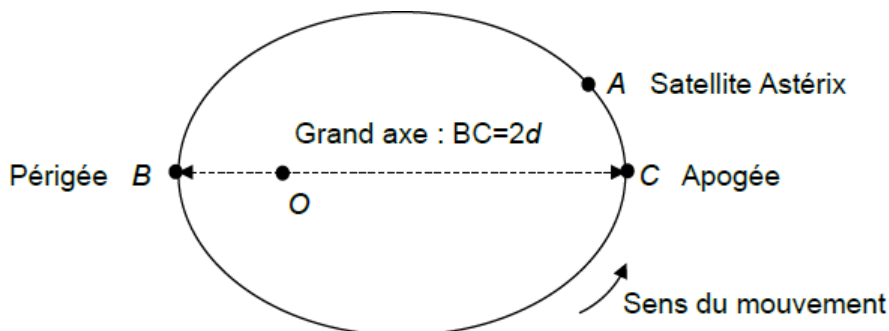
$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}.$$

**Q5.** À l'aide de l'expression littérale de la vitesse  $v$  du satellite et de la définition de la période de révolution  $T$  du satellite autour de la Terre, vérifier que l'expression de la troisième loi de Kepler est :

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}.$$

On admet que cette expression se généralise aux trajectoires elliptiques, en remplaçant  $r$  par le demi-grand axe  $d$  de l'ellipse.

Astérix, le premier satellite artificiel français, a été lancé le 26 novembre 1965. Il parcourt une trajectoire elliptique autour de la Terre de centre O. Les points B et C symbolisent respectivement le périhélie et l'apogée de l'ellipse.



**Q6.** Déterminer la valeur de la masse  $M_T$  de la Terre.

### I.B.2. Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un pendule

Un pendule simple est constitué d'une masse ponctuelle fixée à l'extrémité d'un fil tendu inextensible de longueur  $l$  et de masse négligeable.

L'étude des oscillations d'un pendule simple permet de déterminer la masse de la Terre. Pour cela, on fait osciller le pendule autour de sa position d'équilibre verticale dans le champ de pesanteur uniforme  $\vec{g}$  et on repère sa position en mesurant l'angle  $\theta$  formé par la verticale descendante et le fil.

**Q7.** En négligeant l'effet des frottements fluides, montrer que l'évolution temporelle de l'angle  $\theta$  dans un référentiel terrestre est régie par l'équation différentielle

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega_0^2 \sin(\theta) = 0. \quad (1)$$

Vous préciserez l'expression de  $\omega_0$ .

**Q8.** Expliquer pourquoi l'équation différentielle (1) est difficile à résoudre. Faire une approximation qui permet de la résoudre analytiquement de façon approchée. Dans ce cadre, justifier que la période des oscillations a pour expression :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

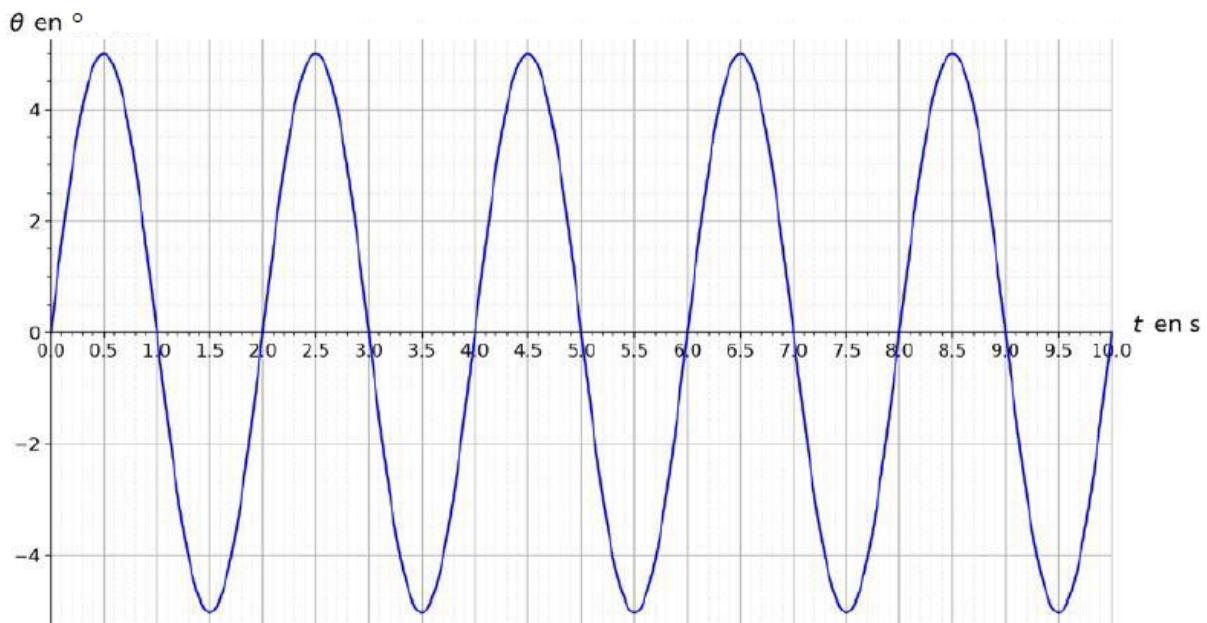


FIGURE 2 – Évolution temporelle de l'angle  $\theta$  pour un pendule de longueur  $l = 1,00$  m

**Q9.** En détaillant la démarche, exploiter la figure 2 pour déterminer la valeur de l'intensité de la pesanteur  $g$ . Commenter.

**Q10.** En considérant que le poids  $\vec{P}$  du pendule représente la force d'interaction gravitationnelle  $\vec{F}_G$  exercée par la Terre sur le pendule, déterminer la valeur  $M_T$  de la masse de la Terre. Commenter.

### I.C. Masse volumique de la Terre

**Q11.** Calculer la masse volumique de la Terre. Commenter le résultat.

### I.D. Vitesse angulaire de rotation de la Terre autour de son axe

**Q12.** Justifier que la Terre peut être modélisée par un solide en rotation, en précisant l'axe de rotation et le référentiel dans lequel cet axe est fixe. Déterminer la valeur de la vitesse angulaire de rotation  $\omega$  de la Terre autour de cet axe.

**Q13.** Rappeler la définition du moment d'inertie  $J_{\Delta}$  d'un solide par rapport à un axe ( $\Delta$ ). Par analyse dimensionnelle, déterminer son unité dans le système international.

On note  $L_{\Delta}$  le moment cinétique scalaire par rapport à l'axe de rotation, et  $E_c$  l'énergie cinétique de rotation autour de l'axe ( $\Delta$ ).

**Q14.** Exprimer  $L_{\Delta}$  et  $E_c$  en fonction de  $J_{\Delta}$  et  $\omega$ .

**Q15.** La durée du jour diminue sur des échelles de temps de quelques centaines de millions d'années. Proposer une explication qualitative à ce phénomène en vous appuyant sur le théorème de l'énergie cinétique pour un solide déformable, après avoir expliqué ce qui motive le choix de ce modèle.

### I.E. Champ magnétique et moment dipolaire de la Terre

Dans le cadre de la théorie du magnétisme, la Terre se comporte comme un aimant droit situé en son centre.

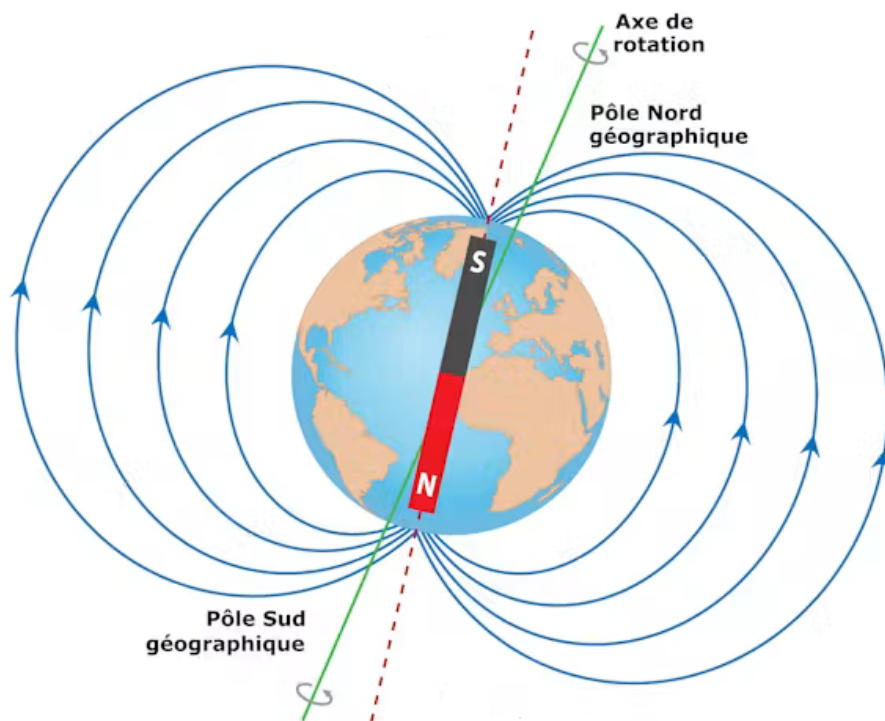
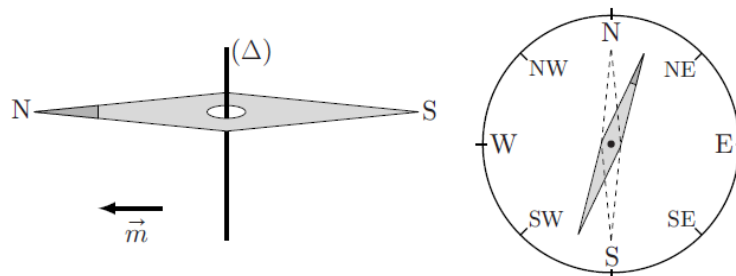


FIGURE 3 – Le champ magnétique terrestre peut être vu comme celui d'un aimant droit légèrement penché par rapport à l'axe de rotation de la Terre. Le pôle Nord géographique correspond approximativement au pôle Sud de l'aimant terrestre.

**Q16.** Nommer les lignes orientées représentées sur la figure 3. Rappeler leur définition, et l'information codée dans les flèches qui les orientent. Au voisinage des pôles magnétiques, ces lignes sont plus resserrées qu'au voisinage de l'équateur terrestre. Que peut-on en conclure ?

**Q17.** Représenter sur votre copie l'aimant qui modélise la Terre, et à côté de ce dernier une boucle de courant qui aurait un moment magnétique orienté dans le même sens, en précisant le sens du courant dans la boucle. Définir le vecteur surface et le moment magnétique de cette boucle de courant. Donner l'ordre de grandeur de la valeur du moment magnétique terrestre.

Une boussole est formée d'un aimant permanent, solide en forme d'aiguille équivalente à un petit dipôle magnétique de moment magnétique  $\vec{m}$ , la direction du vecteur  $\vec{m}$  étant supposée indiquer le Nord.

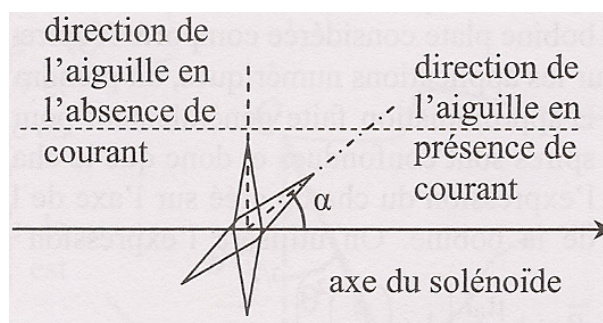


Cette aiguille aimantée peut librement tourner autour d'un axe vertical ( $\Delta$ ) dirigé par le vecteur  $\vec{e}_z$  perpendiculaire au sol localement et formant un pivot de faible frottement.

**Q18.** Expliquer qualitativement pourquoi la boussole indique le Nord à l'équilibre. Discuter de la stabilité de cet équilibre.

Pour mesurer la composante horizontale du champ magnétique terrestre, on utilise le dispositif suivant : une petite aiguille aimantée capable de pivoter autour d'un axe vertical est placée à l'intérieur d'un solénoïde de longueur  $L = 60$  cm et de diamètre  $d = 5$  cm, de manière à ce que, en l'absence de courant dans le solénoïde, l'aiguille soit orthogonale à l'axe de ce dernier.

**Q19.** Indiquer qualitativement ce qui se produit lorsqu'un courant circule dans le solénoïde.



**Q20.** Avec un courant d'intensité  $I = 96$  mA, on relève  $\alpha = 37^\circ$ . Sachant que le solénoïde comporte  $N = 130$  spires et que sa longueur vaut  $L = 60$  cm, calculer la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre. Commenter.

## Partie II - Géophysique et ondes sismiques

### II.A. Ondes sismiques

En géophysique, l'étude de la propagation des ondes sismiques permet de tester des modèles de composition interne d'une planète. Les ondes sismiques se propagent à des vitesses différentes selon les milieux traversés et les conditions locales de température et de pression.

À l'image de la lumière et des rayons lumineux, on peut représenter la direction de propagation des ondes sismiques par des courbes appelées rais sismiques. De même, à la traversée d'une interface entre deux milieux de nature différente, un rai sismique subit un phénomène de réfraction.

**Q21.** Rappeler la relation entre l'indice de réfraction  $n$  d'un milieu homogène transparent isotrope, la célérité  $c$  de la lumière dans le vide, et la célérité  $v$  de la lumière dans ce milieu.

**Q22.** Rappeler la formule de Snell-Descartes pour la réfraction de la lumière à la traversée d'une interface plane entre deux milieux d'indices  $n_1$  et  $n_2$ . Préciser sur un schéma vos notations, en admettant que la lumière passe du milieu 1 au milieu 2. En déduire, pour les rais sismiques, la loi de la réfraction, qui relie les vitesses de propagation  $v_1$  et  $v_2$  et les angles que vous avez introduits.

**Q23.** Expliquer le phénomène de réfraction limite pour les rais sismiques. Faire un schéma et trouver l'expression de l'angle limite qui intervient dans ce phénomène.

Le géophysicien croate Andrija Mohorovicic a mis en évidence en 1909 une interface, appelée depuis Moho, séparant la croûte terrestre (couche superficielle de la Terre) du manteau terrestre (couche de la Terre située plus en profondeur).

On suppose qu'en un point situé quasiment à la surface terrestre, appelé épicentre, a lieu un séisme. Les ondes sismiques se propagent à la vitesse  $v_c$  (respectivement  $v_m$ ) dans la croûte terrestre (respectivement dans le manteau).

Les ondes sismiques dans le manteau sont 14% plus rapides que celles dans la croûte terrestre.

On néglige la courbure de la Terre et on suppose que le Moho est un plan parallèle à la surface de la Terre. Un premier détecteur, placé en surface, situé à 70 km de l'épicentre, détecte une onde sismique 10 s après le début du séisme. Au delà d'un rayon de 126,5 km autour de l'épicentre, un détecteur de surface perçoit deux ondes sismiques, arrivant à des instants différents.

**Q24.** Faire un schéma, en précisant un maximum d'informations et de paramètres utiles.

**Q25.** Déterminer les vitesses  $v_c$  et  $v_m$ . Faire les applications numériques.

**Q26.** En déduire la profondeur du Moho.

Il existe plusieurs types d'ondes sismiques. Dans notre étude, on se limite aux ondes P, dites primaires, et aux ondes S, dites secondaires. Les ondes P se propagent dans tous les milieux matériels (avec cependant des vitesses différentes selon les propriétés physiques de ces milieux) alors que les ondes S ne se propagent pas dans les milieux liquides.

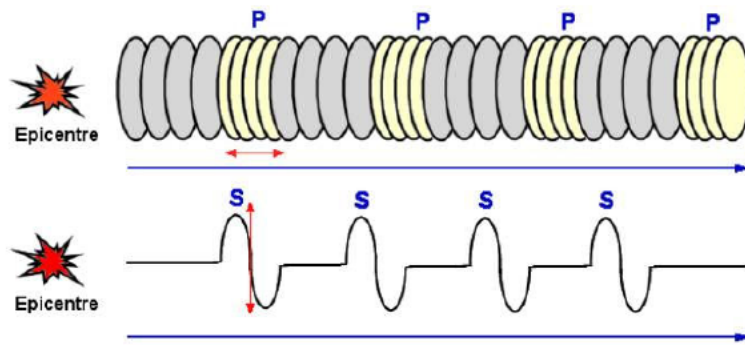


FIGURE 4 – Représentation des ondes sismiques P et S

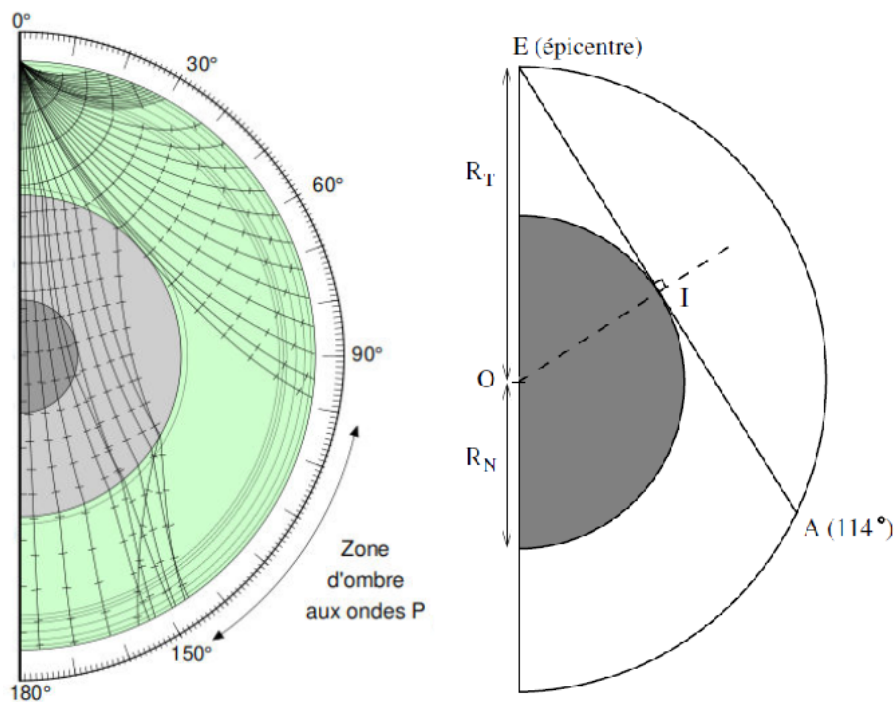


FIGURE 5 – À gauche, phénomène de zone d'ombre. À droite, modèle retenu (le point A désigne le début de la zone d'ombre).

**Q27.** Au vu de la représentation figure 4, comment peut-on qualifier les ondes P ? Et les ondes S ?

**Q28.** Proposer une explication à l'incurvation des trajectoires des ondes sismiques, observées sur la figure 5. Citer un phénomène optique analogue.

**Q29.** En exploitant la présence d'une zone d'ombre pour les ondes P et en négligeant l'incurvation des rais sismiques (figure 5), déterminer le rayon  $R_N$  du noyau.

Pour comprendre la propagation des ondes P, on considère le modèle de la chaîne infinie d'oscillateurs harmoniques, constituée de masses ponctuelles  $M$ , séparées par des ressorts de longueur à vide  $l_0$  et de constante de raideur  $K$ .

À l'équilibre, en l'absence de perturbation, les masses sont séparées d'une longueur  $a$ . Hors équilibre, les masses peuvent uniquement se déplacer selon la direction  $x$ . La  $n$ -ième masse est repérée par la variable de position  $x_n(t)$ , dans un référentiel galiléen. Le poids n'est pas pris en compte dans l'étude, ni aucune force de frottement.

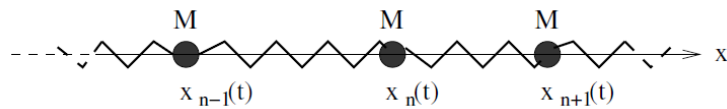


FIGURE 6 – Modèle de la chaîne infinie d'oscillateurs harmoniques.

**Q30.** Exprimer la force  $\vec{F}_g$  (respectivement  $\vec{F}_d$ ) exercée par le ressort de gauche (respectivement de droite) sur la n-ième masse.

**Q31.** En déduire la relation :

$$\ddot{x}_n(t) = \omega_0^2(x_{n+1} - 2x_n + x_{n-1})$$

et expliciter  $\omega_0$  en fonction de M et K.

**Q32.** On recherche, pour l'équation linéaire précédente, une solution sinusoïdale à l'aide de la notation complexe :

$$\underline{x}_n(t) = Ae^{j(\omega t - kna)}$$

avec  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  la pulsation spatiale et  $\lambda$  la longueur d'onde. En déduire la relation entre  $\omega^2$  et k. On rappelle que  $1 - \cos(2x) = 2\sin^2(x)$ .

**Q33.** En déduire la vitesse de propagation de l'onde, sachant que  $k \ll 1/a$ . Faire l'application numérique avec  $a = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ,  $K = 1,7 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$  et  $M = 2,7 \times 10^{-26} \text{ kg}$ .

## II.B. Sismographe

Lors d'un séisme, les mouvements du sol sont étudiés par l'intermédiaire de sismographes. Un sismographe simple est constitué d'un support rigide de hauteur  $h$ , auquel on suspend une masse  $m$ , supposée ponctuelle, par l'intermédiaire d'un ressort de masse négligeable de raideur  $k$ , de longueur à vide  $l_0$ , et d'un amortisseur de coefficient de frottement  $\lambda$ .

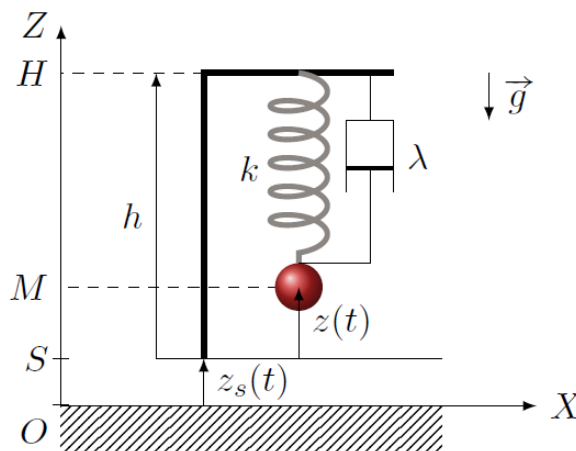


FIGURE 7 – Schéma d'un sismographe simple

Cet amortisseur exerce sur la masse m une force

$$\vec{F}_a = \lambda \frac{d}{dt}(h - z) \vec{e}_z = -\lambda \frac{dz}{dt} \vec{e}_z.$$

Un mouvement vertical du sol déclenche un mouvement vertical de la masse m caractérisé par la fonction  $z(t)$  dans le référentiel lié au sol. On pose :  $z(t) = z_{\text{éq}} + u(t)$ . La position  $z = z_{\text{éq}}$  correspond à la position d'équilibre de la masse m en l'absence de séisme et  $u(t)$  représente l'écart par rapport à l'équilibre.

On modélise une composante en fréquence de la vibration verticale du sol par rapport à un référentiel galiléen (O,X,Y,Z) au moyen de la fonction :  $z_s(t) = Z_0 \cos(\omega t)$ .

**Q34.** On admet que l'équation différentielle qui relie  $u(t)$ ,  $z_s(t)$ , m,  $\lambda$  et  $k$  s'écrit :

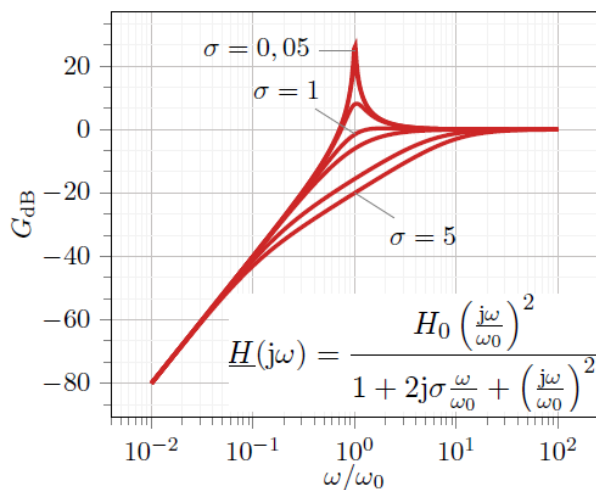
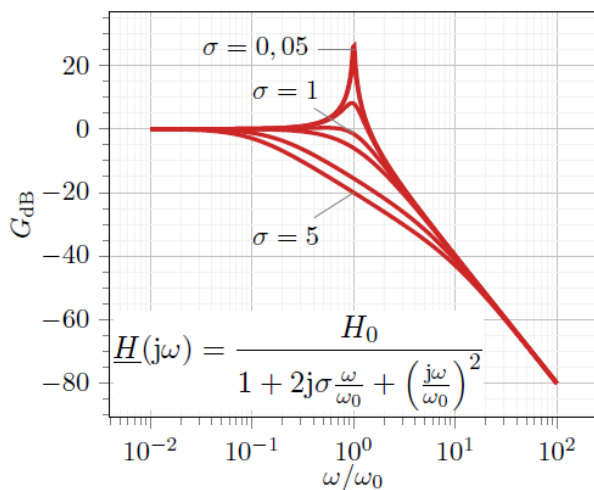
$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + \lambda \frac{du}{dt} + ku = m \frac{d^2 z_s}{dt^2}.$$

Préciser l'origine et la signification physique de chacun des termes qui y figurent.

**Q35.** Justifier que ce sismographe est un système linéaire de fonction de transfert

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u}(t)}{\underline{z}_s(t)}.$$

On donne ci-dessous les diagrammes de Bode en amplitude pour des filtres du deuxième ordre.



**Q36.** Déterminer l'expression de la fonction de transfert du sismographe en fonction de m, k,  $\lambda$ ,  $\omega$  et j, nombre complexe tel que  $j^2 = -1$ . De quel type de filtre s'agit-il ? Retrouver par le calcul les pentes des asymptotes à basse et haute fréquence.

**Q37.** Préciser l'expression de l'amplitude maximale U de la réponse verticale  $u(t)$  du régime forcé de la masse m en fonction de  $Z_0$ , m, k,  $\lambda$  et  $\omega$ .

**Q38.** À quelle condition l'amplitude U du mouvement de la masse m est-elle égale à l'amplitude  $Z_0$  du mouvement du sol ? La suspension est-elle alors qualifiée de souple ou de rigide ? La masse m vibre-t-elle en phase, en quadrature de phase ou en opposition de phase avec le sol ?

**Q39.** Le cahier des charges du sismographe impose d'éviter tout phénomène de résonance, ce qui impose une condition supplémentaire sur la grandeur sans dimension  $Q = \frac{\sqrt{km}}{\lambda}$ . Préciser sans justification cette condition à l'aide d'une inégalité.

### Partie III - Océans et eau de mer

L'eau de mer est une solution naturelle qui recouvre 70% de la surface de la Terre, pour un volume supérieur à un milliard de kilomètres cube.

#### III.A. Le solvant : l'eau

**Q40.** Donner la configuration électronique, dans l'état fondamental, des atomes de la molécule d'eau. En déduire la représentation de Lewis de la molécule d'eau.

**Q41.** Déduire, à partir de la théorie V.S.E.P.R., la géométrie de l'arrangement des doublets électroniques dans la molécule d'eau et la géométrie de cette dernière.

**Q42.** Justifier alors que la molécule d'eau est polaire.

**Q43.** L'eau pure est le siège d'une réaction d'autoprotolyse. Écrire l'équation de cette réaction.

**Q44.** Rappeler le principe de fonctionnement des cellules conductimétriques usuellement utilisées en travaux pratiques de chimie.

**Q45.** En vous appuyant sur la loi de Kohlrausch, calculer la conductivité théorique  $\sigma$  de l'eau pure à 25°C. Au laboratoire, la mesure de la conductivité de l'eau distillée à 25°C, donne  $150 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ . Commenter cette valeur.

On cherche, désormais, à déterminer la valeur du  $\text{pK}_e$  de l'eau pure, supposée inconnue. On construit pour cela deux piles :

▷ Pile 1 :  $\text{Pt} \mid \text{H}_{2(\text{g})} \mid \text{H}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cl}_{(\text{aq})}^- \mid \text{AgCl}_{(\text{s})} \mid \text{Ag}_{(\text{s})}$

La pression en dihydrogène est de 1 bar et la concentration en acide chlorhydrique vaut  $C = 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

▷ Pile 2 :  $\text{Ag}_{(\text{s})} \mid \text{AgCl}_{(\text{s})} \mid (\text{K}_{(\text{aq})}^+ + \text{OH}_{(\text{aq})}^-) + (\text{K}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cl}_{(\text{aq})}^-) \mid \text{H}_{2(\text{g})} \mid \text{Pt}_{(\text{s})}$

La pression en dihydrogène est de 1 bar, les concentrations en hydroxyde de potassium et en chlorure de potassium valent  $C = 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Le chlorure d'argent est très peu soluble dans la solution avec laquelle il est en contact.

**Q46.** Quelles sont les demi-équations d'échange électronique envisageables à chacune des électrodes de la pile 1 ? En appliquant la loi de Nernst, donner l'expression du potentiel de chaque électrode en fonction de C et de constantes thermodynamiques connues.

**Q47.** Indiquer le pôle positif de la pile 1 et donner l'expression de la force électromotrice  $E_1$  de la pile 1 en fonction de C et de constantes thermodynamiques connues.

**Q48.** Quelles sont les demi-équations d'échange électronique envisageables à chacune des électrodes de la pile 2 ? Donner l'expression du potentiel de chaque électrode en fonction de C, de constantes thermodynamiques connues et de  $\text{pK}_e$ .

**Q49.** Indiquer le pôle positif de la pile 2 et donner l'expression de la force électromotrice  $E_2$  de la pile 2 en fonction de C, de constantes thermodynamiques connues et de  $\text{pK}_e$ .

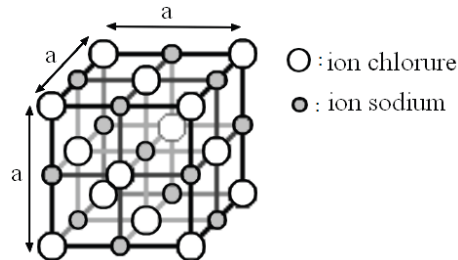
**Q50.** Les piles sont reliées par leurs électrodes d'argent. La mesure de la force électromotrice de la pile double donne  $E = 0,472\text{V}$  à 25°C ; en déduire la valeur du  $\text{pK}_e$  de l'eau à cette température et comparer à la valeur connue à 25°C.

#### III.B. Principal soluté : le sel

La composition moyenne de l'eau de mer pour une salinité de  $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  correspond à  $27,2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  en chlorure de sodium et  $3,8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  en chlorure de magnésium. Le sel de mer est obtenu par évaporation de l'eau sous l'action conjuguée du soleil et du vent.

**Q51.** Justifier que le vent et le soleil sont favorables à l'évaporation. Vous nommerez les modes de transfert thermique qui ont lieu.

Le chlorure de sodium cristallise dans un réseau cubique à faces centrées :



**Q52.** Déterminer le nombre d'ions chlorure et d'ions sodium dans une maille.

**Q53.** En déduire la formule chimique de ce cristal. À quelle famille de cristaux appartient-il ?

**Q54.** Un logiciel de simulation permet de déterminer le paramètre de maille  $a = 564 \text{ pm}$ . À partir de cette unique donnée, est-il possible de déterminer le rayon de l'ion chlorure et celui de l'ion sodium ?

**Q55.** Calculer la masse volumique du cristal de chlorure de sodium. Commenter.

### III.C. Autre soluté : le dioxyde de carbone

Dans l'eau, le  $\text{CO}_2$  dissous se présente sous la forme d'un diacide  $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O})_{(aq)}$ .

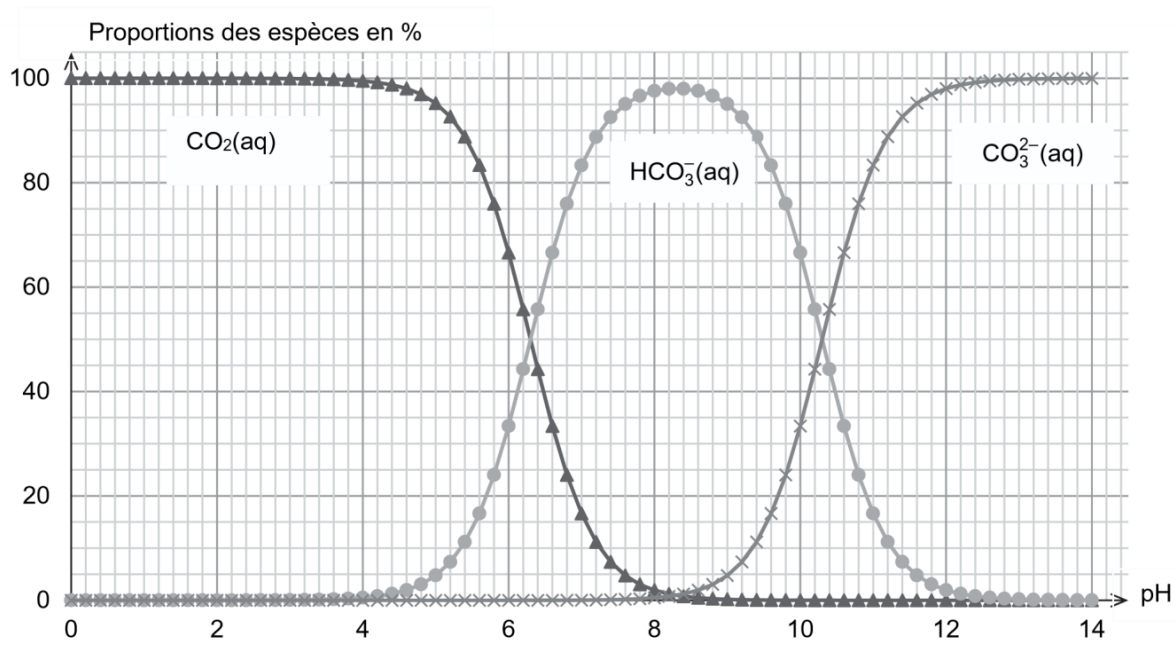


FIGURE 8 – Diagramme de distribution en solution aqueuse à  $25^\circ\text{C}$

Actuellement, l'eau de mer a un pH compris entre 8,1 et 8,3 mais les scientifiques s'attendent à une diminution du pH de 0,3 d'ici 100 ans.

**Q56.** Rappeler la définition d'un acide fort, et en donner un exemple. Le dioxyde de carbone est-il un acide fort ? Justifier.

**Q57.** Sous quelle forme prédomine le  $\text{CO}_2$  dissous dans les océans ? Cette espèce chimique est un amphotère acide-base ; expliquer ce qu'on entend par là.

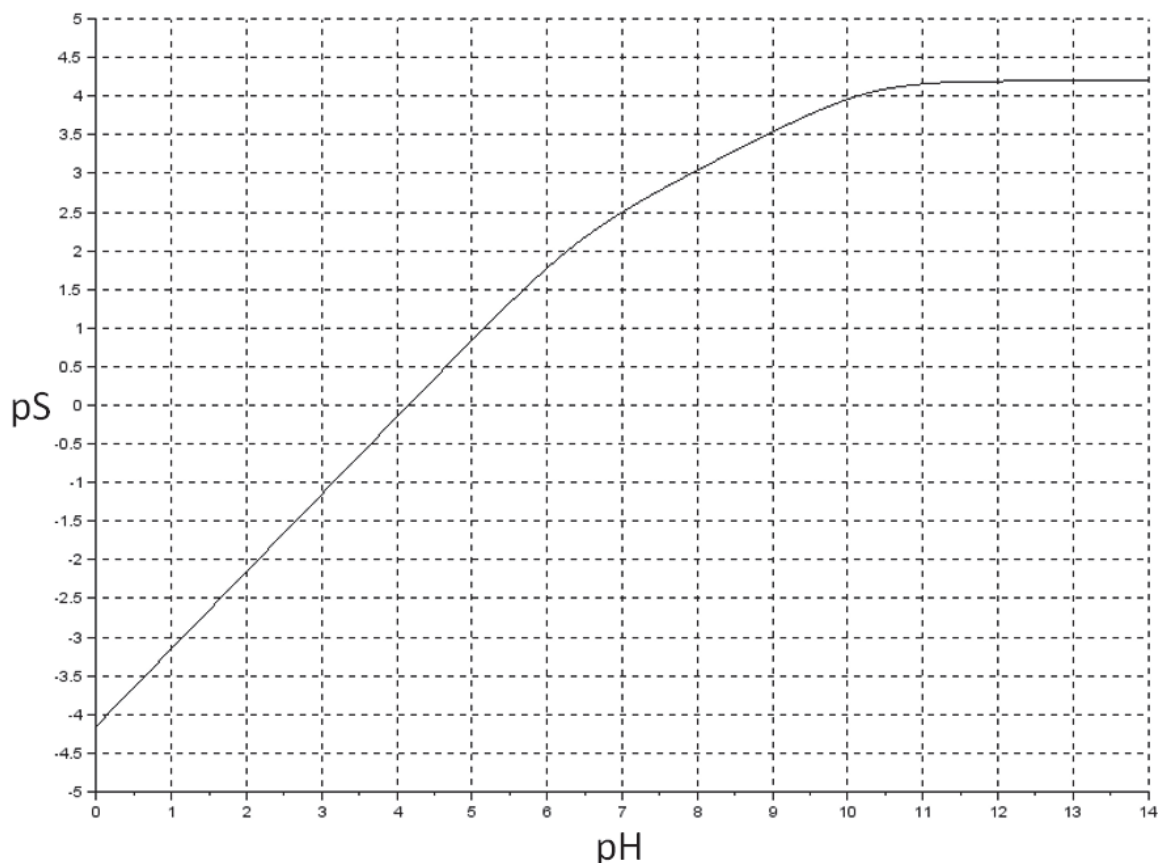
**Q58.** Écrire la demi-équation d'échange protonique conduisant à la formation de cette espèce chimique prédominante. Justifier que la dissolution du  $\text{CO}_2$  atmosphérique dans les océans fait diminuer le pH de ces derniers.

**Q59.** Estimer la valeur du  $\text{pK}_A$  du couple  $\text{CO}_2(aq)/\text{HCO}_3^-(aq)$  à  $25^\circ\text{C}$ . Vous décrirez soigneusement votre démarche.

Les coraux et les coquilles de certains organismes marins sont majoritairement constitués de carbonate de calcium (calcaire)  $\text{CaCO}_3(s)$ .

**Q60.** Écrire l'équation de dissolution du carbonate de calcium dans l'eau.

On note  $S$  la solubilité en quantité de matière du carbonate de calcium et  $\text{pS} = -\log(S)$  son cologarithme décimal.



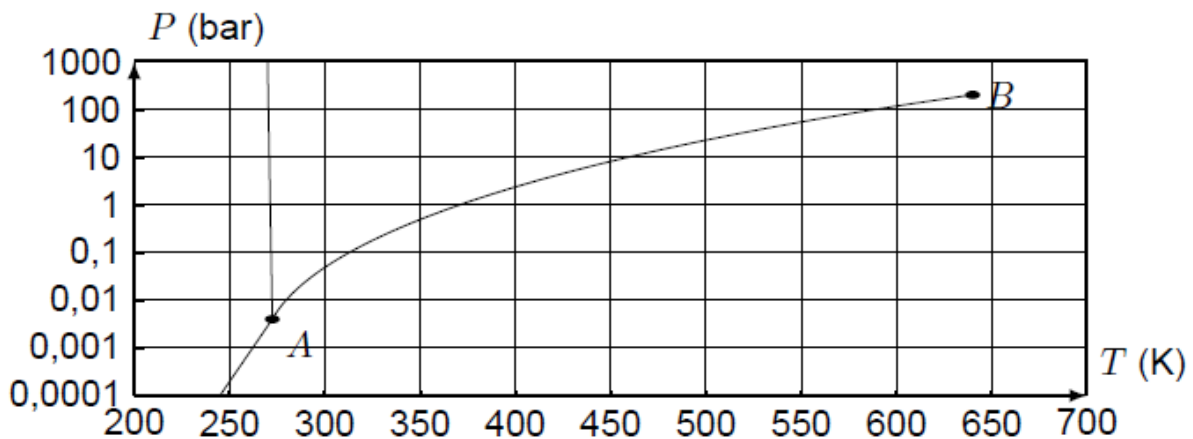
**Q61.** Dédire de ce graphe l'effet d'une augmentation de la concentration en dioxyde de carbone dissous sur les organismes calcaires des océans.

**Q62.** Donner plusieurs facteurs qui ont une influence sur la solubilité du dioxyde de carbone.

## Partie IV - Atmosphère terrestre

### IV.A. Influence de l'atmosphère sur la température terrestre

**Q63.** On donne ci-dessous le diagramme de phases de l'eau pure en coordonnées (P,T). Reproduire ce diagramme sur votre copie et le compléter en y plaçant les zones des phases gazeuse, liquide et solide. Y placer les points de fusion et de vaporisation à pression atmosphérique. Donner les noms des points A et B du diagramme.

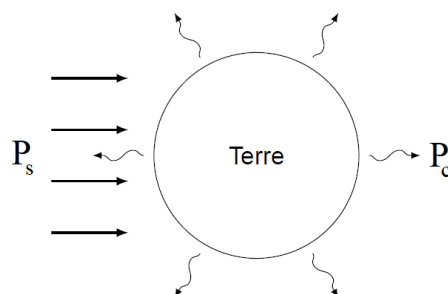


**Q64.** Donner l'état physique de l'eau pure à température ambiante  $T = 25^\circ\text{C}$  et sous pression atmosphérique. Justifier qualitativement qu'il existe malgré tout de l'eau sous forme vapeur dans l'air.

L'effet de serre est un phénomène naturel permettant notamment d'atteindre une température de l'air au niveau du sol propice au développement d'êtres vivants. Les gaz principalement responsables de l'effet de serre sont la vapeur d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ , le méthane  $\text{CH}_4$  et le protoxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Q65.** Donner les schémas de Lewis du dioxyde de carbone et du méthane. En proposer un pour le protoxyde d'azote où l'atome central est un atome d'azote.

La présence de ces gaz a une influence sur la température en surface de la Terre. On considère dans un premier temps la planète Terre sans atmosphère. On l'assimile à une boule homogène recevant une puissance  $P_s$  de la part du Soleil et émettant une puissance  $P_c$  par rayonnement thermique. Un schéma explicitant les directions et sens des rayonnements est donné ci-dessous.



La constante solaire vaut  $\Pi_{m,s} = 1,4 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Elle correspond à la puissance lumineuse en provenance du Soleil par unité de surface perpendiculaire aux rayons.

**Q66.** Exprimer la puissance totale  $P_s$  reçue par la Terre par rayonnement solaire en fonction de  $\Pi_{m,s}$  et de  $R_T$ , le rayon de la Terre. En évaluer un ordre de grandeur.

Seulement 70% de la puissance reçue par la Terre de la part du Soleil est absorbée par celle-ci, le reste étant réfléchi vers l'espace (c'est le phénomène d'albédo).

**Q67.** En appliquant le premier principe de la thermodynamique à la planète Terre, établir une relation entre  $P_c$  et  $P_s$  en régime permanent.

La puissance cédée par la Terre sous forme de rayonnement suit la loi :

$$P_c = \sigma T_S^4 S_T,$$

avec  $\sigma$  une constante,  $T_S$  la température de surface de la Terre et  $S_T$  sa surface.

**Q68.** Établir l'expression de la température de surface  $T_S$  en fonction de  $\Pi_{m,s}$  et de  $\sigma$ . L'application numérique donne  $T_S = 257\text{K}$ . Commenter.

#### IV.B. Évolution de la pression avec l'altitude

On modélise l'atmosphère par un gaz parfait dont la température  $T_0$  est la même à toute altitude  $z$ . En notant  $(Oz)$  l'axe vertical ascendant, on rappelle la forme prise par la relation fondamentale de la statique des fluides dans le champ de pesanteur où  $\mu$  est la masse volumique du fluide considéré et  $g$  est l'accélération de la pesanteur :

$$\frac{dP}{dz} = -\mu g.$$

**Q69.** Rappeler les hypothèses du modèle du gaz parfait et l'équation d'état d'un tel gaz, en précisant la signification des symboles et les unités des grandeurs physiques.

**Q70.** Exprimer  $\mu$  en fonction de  $P$ ,  $M$ ,  $R$  et  $T_0$ .

**Q71.** En déduire que le champ de pression  $P(z)$  vérifie :

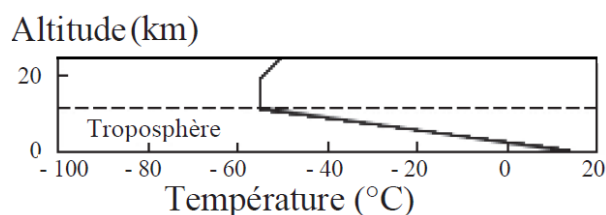
$$\frac{dP}{dz} + \frac{P}{H} = 0 \quad (2)$$

et donner l'expression de  $H$ . Déterminer son unité.

**Q72.** Pour résoudre cette équation différentielle numériquement, on pourrait appliquer la méthode d'Euler. Expliquer brièvement en quoi elle consiste.

**Q73.** Résoudre analytiquement l'équation différentielle (2) pour exprimer  $P(z)$  en fonction de l'altitude  $z$ , de  $H$  et de la pression atmosphérique au niveau de la mer  $P_{\text{atm}}$ .

On donne le profil de température dans l'atmosphère terrestre à basse altitude.



**Q74.** Le modèle d'atmosphère adopté plus haut vous paraît-il justifié ? Quel autre modèle relatif à la température aurait-on pu employer dans la troposphère ? Justifier.

## Formulaire et données :

Données pour la partie I.B.1. relatives au satellite Astérix :

- ▷ Distance entre le périhélie et le centre de la Terre :  $OB = 6,89 \times 10^6$  m ;
- ▷ Distance entre l'apogée et le centre de la Terre :  $OC = 8,07 \times 10^6$  m ;
- ▷ Le satellite Astérix effectue 1400 révolutions autour de la Terre en une durée  $\Delta t = 9,03 \times 10^6$  s.

▷ Expression du couple exercé par un champ magnétique  $\vec{B}$  sur un dipôle magnétique de moment dipolaire  $\vec{m}$  :

$$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}$$

où  $\wedge$  désigne le produit vectoriel.

▷ Énergie potentielle magnétique de ce dipôle :

$$E_p = -\vec{m} \cdot \vec{B},$$

où  $\cdot$  représente le produit scalaire.

▷ Champ magnétique créé par un solénoïde infini d'axe (Oz) parcouru par un courant d'intensité  $I$  à l'intérieur du solénoïde :

$$\vec{B} = \mu_0 n I \vec{u}_z$$

où  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H}\cdot\text{m}^{-1}$  est la perméabilité magnétique du vide et  $n$  est la densité linéique de spires.

- ▷ Rayon moyen de la Terre :  $R_T = 6378$  km ;
- ▷ Constante de gravitationnelle universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$  ;

ion	$\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$	$\text{HO}^-_{(\text{aq})}$
$\lambda (\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1})$	$3,5\cdot 10^{-2}$	$2,0\cdot 10^{-2}$

FIGURE 9 – Conductivités molaires ioniques à 298K

- ▷ Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$  ;
- ▷ Masses molaires atomiques :  $M(\text{Na}) = 23,0 \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- ▷ Masse volumique du chlorure de sodium solide :  $\rho = 2,16 \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

### Aide au calcul :

$$\frac{25 \times 157,5}{2\pi} \approx 627 ; \frac{9,03}{1,40} \approx 6,45 ; \frac{4\pi^2 \times 7,48^3}{6,67 \times 6,45^2} \approx 59,5 ; \pi^2 \approx 9,8696 ; \frac{6,378^2 \times 9,8696}{6,67} \approx 60,2 ; \frac{9}{2\pi \times 6,378^3} \approx 5,5 \times 10^{-3} ; \frac{\pi}{3 \times 12^2} = 7,3 \times 10^{-3} ; \frac{\tan(37^\circ) \times 4\pi \times 1,3 \times 9,6}{6} \approx 19,7 ; \frac{126,5 \sqrt{1,14^2 - 1}}{2} \approx 34,6 ; 6378 \times \cos(57^\circ) \approx 3474 ; \sqrt{\frac{1,7}{2,7}} \approx 0,79 ; \frac{0,472}{0,06} \approx 7,87 ; \frac{4 \times 58,5}{6,02 \times 5,64^3} = 0,217.$$

**FIN**