

Devoir Surveillé 1

L'emploi des calculatrices personnelles est interdit.

Instructions générales

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction. La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.

Le candidat prendra soin de bien numéroter les questions.

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble 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.

La chimie représentera un tiers des points.

Mesure de la pression atmosphérique

Toute prévision météorologique est basée sur un modèle fiable de l'atmosphère, rendant compte en particulier de la pression, de la température et de l'hygrométrie (humidité de l'air) en différents points de l'espace.

Le saviez-vous ?

Torricelli, en 1643-1644, a retourné dans une cuvette de mercure des tubes de diamètres différents remplis du même liquide pour constater que le niveau de mercure obtenu était toujours le même quel que soit le diamètre des tubes : 760 millimètres.

En 1648, Pascal a démontré, en faisant gravir au tube de Torricelli le Puy de Dôme, que la pression diminue avec l'altitude et que le bout du tube est rempli de... vide !

Mesurer la pression en météorologie

L'instrument de mesure de la pression atmosphérique est le baromètre. Les météorologistes appliquent des normes définies par l'Organisation météorologique mondiale pour pouvoir comparer les mesures de pression entre elles. Elles sont ainsi ramenées au niveau de la mer et les baromètres sont calés pour indiquer la pression au niveau de la mer.

Il existe plusieurs types de baromètres :

- Le baromètre à mercure – de plus en plus rare du fait de la législation sur le mercure – indique la pression exacte du lieu. Il faut corriger cette pression de l'altitude pour obtenir la pression au niveau de la mer.
- Le baromètre anéroïde contient une ou plusieurs capsules à vide (capsule de Vidie) qui s'écrase plus ou moins en fonction de la pression. Cette variation est amplifiée par un mécanisme déplaçant une aiguille sur un cadran.
- Les baromètres utilisés par Météo-France sont des baromètres numériques compensés en température. En effet, le capteur étant sujet à dilatation en fonction de la température, la mesure de pression est corrigée grâce à un capteur de température.

En météorologie, on mesure aussi la variation de la pression avec l'altitude avec un capteur placé sous un ballon : c'est le radiosondage. C'est la connaissance fine des variations horizontales et verticales de la pression atmosphérique qui permet de déterminer les mouvements de l'atmosphère.



Baromètre anéroïde



Ballon-sonde

Variation horizontale de la pression atmosphérique

Au niveau de la mer, la pression moyenne est de 1 013,25 hPa.

En France métropolitaine, entre 1951 et 2012, on a relevé 951,8 hPa le 25 février 1989 à la Pointe de La Hague (Manche) et 1048,9 hPa à la pointe de Chemoulin (Loire-Atlantique) le 3 mars 1990.

Document 1. Extraits (<http://www.meteofrance.fr/>)

1) Baromètre à mercure

- 1) Démontrer la relation de statique des fluides sans oublier de donner les hypothèses et système étudié.
- 2) Expliquer l'expérience menée par Torricelli. On en donnera un schéma et on s'appuiera sur un calcul pour retrouver la valeur de 760 mm donnée dans le document 1. Pourquoi le diamètre du tube ne change-t-il pas la hauteur de mercure ?
- 3) Commenter l'extrait suivant du document 1 : « le bout du tube est rempli de... vide ! ».
- 4) Quel modèle doit-on adopter et quelles hypothèses doit-on faire pour déterminer la variation de la pression avec l'altitude dans l'atmosphère ?
- 5) Déterminer la valeur de la pression au sommet du Puy de Dôme d'altitude $z_p = 1465m$. Quelle serait alors la hauteur de la colonne de mercure ?

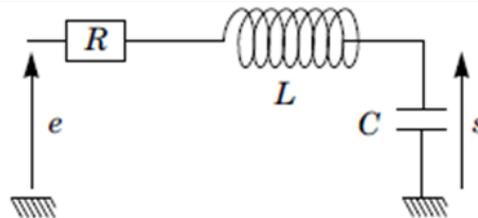
2) Ballon sonde

Le ballon-sonde est le moyen le plus simple et le plus économique d'envoyer une charge dans les différentes couches de l'atmosphère. Les ballons météorologiques, embarquant du matériel scientifique de mesure, explorent par exemple toute la troposphère et la basse stratosphère.

2.a) Liaison radiosonde – récepteur

Le ballon-sonde communique avec la station météo grâce à une radiosonde qui émet un signal électromagnétique de haute fréquence (onde UHF) de valeur $f = 100\text{MHz}$. Le signal reçu par un cadre récepteur est amplifié puis envoyé via un câble coaxial vers un dispositif qui effectue son analyse. On étudie ici le circuit amplificateur.

Le signal obtenu aux bornes du cadre récepteur puis amplifié est envoyé sur un circuit (voir document 2).



Document 2. Circuit RLC

6) Donner l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{s}{e}$ de ce montage en fonction de ω_0 et Q ou m . On notera

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad ; \quad 2m = R\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{Q}$$

Que représentent ces grandeurs ? Quelle est la nature de ce montage ?

On ajuste les valeurs de R , L et C afin que la fréquence f du signal d'entrée satisfasse à la condition suivante : $f = f_0$. On considère cette condition réalisée dans la suite de cette partie.

7) Quel est l'influence de Q dans un filtre du second ordre ? Quel est l'intérêt de réaliser la condition précédente ?

8) La valeur de l'inductance est $L = 0,10\mu\text{H}$, calculer la valeur de C permettant d'obtenir la condition précédente.

9) Exprimer le gain en décibel du montage en fonction des valeurs de R , L et C puis en fonction de Q . Donner la valeur de R permettant d'obtenir un gain de 20 dB.

10) Tracer le diagramme de Bode du filtre précédent.

Une autre possibilité pour amplifier le signal est d'utiliser un composant actif, l'Amplificateur Linéaire Intégré (ALI). Le document 3 donne un schéma du montage à réaliser.

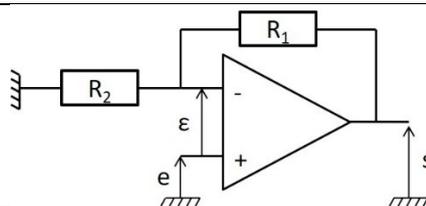
11) Pourquoi dit-on que ce composant est actif ? Énoncer les propriétés qui caractérisent son modèle. Tracer sa caractéristique entrée-sortie.

12) En supposant l'ALI idéal en régime linéaire, donner l'expression de la fonction de transfert $\underline{G}(j\omega) = \frac{s}{e}$ du montage.

13) Proposer des valeurs de résistances pour obtenir un gain de 20 dB.

14) En partant de la fonction de transfert $\underline{A}(j\omega) = \frac{s}{e}$ de l'ALI non idéal en régime linéaire, montrer que ce montage a un comportement passe-bas. On définira sa bande passante, ainsi que son produit gain-bande passante, GBP . Que remarquez-vous ? Donner un ordre de grandeur de ce produit.

15) Comparer les deux circuits proposés.



Document 3. Amplificateur à base d'ALI

2.b) Mesure de température

Le ballon-sonde va mesurer l'évolution de la température avec l'altitude.

On étudie l'ascension d'une particule d'air depuis la surface de la Terre à la pression P_0 et à la température T_0 , jusqu'à une altitude z à la pression $P(z)$. Cette ascension peut être assimilée à une détente isotherme.

16) Énoncer la première loi de Joule. Que peut-on dire de la variation d'énergie interne au cours de la détente ?

17) Énoncer le premier et le deuxième principe de la thermodynamique pour une transformation différentielle en précisant chacun des termes entrant dans leur composition.

18) Énoncer et démontrer la première identité thermodynamique. Comment varie l'entropie de la parcelle au cours de la détente ?

19) D'après le document 4, le modèle simplifié de la troposphère isotherme vous paraît-il justifié ? Dans le cas contraire, quel autre modèle relatif à la température pourrait-on employer ? Justifier.

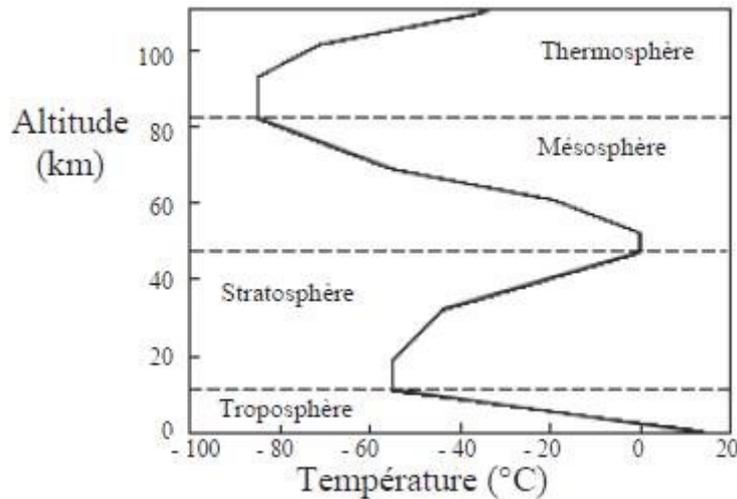


Figure 2 : Profil de température de l'atmosphère terrestre

On suppose maintenant que l'ascension de la particule d'air depuis la surface de la Terre à la pression P_0 et à la température T_0 , jusqu'à une altitude z à la pression $P(z)$, peut être assimilée à une détente adiabatique et mécaniquement réversible.

20) Montrer qu'une transformation adiabatique réversible est aussi isentropique.

21) Énoncer et démontrer la loi de Laplace en fonction de la température T , de la pression P et de γ tout en précisant ses hypothèses d'application. En déduire la relation suivante : $\frac{dP}{P} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{dT}{T}$

22) En combinant les équations obtenues précédemment, montrer qu'on obtient l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dT}{dz} = -\alpha \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{M_{\text{air}} g}{R}. \quad \text{On donne : } \alpha = 9.10^{-3} \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

23) On appelle T_0 la température de l'air à l'altitude $z=0\text{m}$. Exprimer $T(z)$ en fonction de T_0 , α et z .

24) Montrer alors que l'on peut écrire $P(z) = P_0 \left(1 - \frac{\alpha}{T_0} z\right)^\beta$ où l'on donnera l'expression de β en fonction de H , T_0 et α . Calculer β .

25) Résolution de problème : cette question nécessite plus de temps, le barème en tiendra compte.

On suppose que l'épaisseur de la troposphère est constante, $z_{tr} = 12\text{km}$ et que la terre est une boule de rayon $R_t = 6400\text{km}$. Donner une estimation numérique de la masse m_{tr} de la troposphère.

Données :

- Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- Constante des gaz parfait : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
- Masse molaire de l'air : $M_a = 28,8 \text{ g.mol}^{-1}$
- Pression de l'air à $z = 0$: $P_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Température de l'air à $z = 0$: $T_0 = 300 \text{ K}$
- Masse volumique du mercure dans les conditions standard : $\mu_{\text{Hg}} = 1,35 \cdot 10^4 \text{ kg.m}^{-3}$

Aide au calcul :

$\frac{1,013}{1,35 \times 9,81} = 0,076$	$\frac{8,31 \times 3,00}{2,88 \times 9,81} = 0,882$	$\frac{2,88 \times 9,81}{3,00 \times 8,31} = 1,13$	$1,013 e^{-\frac{1,465}{8,82}} = 0,85$
$1,013 e^{-\frac{1,465}{1,13}} = 0,28$	$\frac{0,85}{1,35 \times 9,81} = 0,064$	$\frac{1}{0,1 \times 4 \times \pi^2} = 0,25$	$0,1 \sqrt{\frac{0,1}{0,25}} = 0,063$
$\frac{3}{8,82 \times 9} = 0,03$			

Transformation de la matière : Equilibres chimiques et Evolution temporelle

Introduction au cours de TSI2

On étudie une transformation chimique modélisée par l'équation suivante : $\alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 = \alpha'_1 A'_1 + \alpha'_2 A'_2$

Avec : A_1 et A_2 les réactifs ; A'_1 et A'_2 les produits ; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha'_1, \alpha'_2$ les coefficients stœchiométriques.

1) Equilibre chimique

26) Si les réactifs et produits sont des gaz, comment peut-on exprimer leurs activités ?

27) Exprimer alors le quotient réactionnel Q de la réaction en fonction des pressions partielles des constituants.

On notera P_{A_i} la pression partielle du constituant A_i .

28) En donnant la définition de la pression partielle, montrer que l'on peut réécrire le quotient réactionnel sous la

forme : $Q = \frac{n_{A'_1}^{\alpha'_1} n_{A'_2}^{\alpha'_2}}{n_{A_1}^{\alpha_1} n_{A_2}^{\alpha_2}} \left(\frac{P}{n P^0} \right)^{\sum_i \alpha_i}$ où $\sum_i \alpha_i = \alpha'_1 + \alpha'_2 - \alpha_1 - \alpha_2$

On notera n_{A_i} la quantité de matière du constituant A_i , P la pression totale du système et n la quantité de matière totale gazeuse.

Simplifier l'expression précédente en prenant pour hypothèse : $\alpha'_1 = \alpha'_2 = \alpha_1 = \alpha_2 = 1$. On gardera cette hypothèse pour toute la suite du problème.

29) Soit K^0 la constante d'équilibre de la réaction précédente. En fonction de la valeur de Q , comment peut-on prévoir le sens d'évolution spontanée du système chimique ?

30) Etablir le tableau d'avancement de la réaction précédente en supposant que les réactifs sont introduits en proportion stœchiométrique.

31) Montrer alors que le quotient de réaction peut s'écrire sous la forme suivante : $Q = \frac{\xi^2}{(1-\xi)^2}$

32) Dans quel cas, peut-on parler d'une transformation totale ? Que vaut alors l'avancement ξ ?

33) Il arrive qu'une réaction supposée totale ne se déroule pas. Quel facteur oublie-t-on alors de prendre en compte ?

2) Cinétique chimique

34) Comment relie-t-on la vitesse de réaction à la vitesse de disparition d'un réactif ?

35) On suppose que la réaction précédente est d'ordre 1 par rapport à ses deux réactifs. Quel est alors l'ordre global ? Comment peut-on exprimer la vitesse de réaction en fonction de $[A_1]$ la concentration en constituant A_1 et d'une constante de vitesse que l'on notera k .

36) Etablir alors l'équation différentielle vérifiée par $[A_1]$, concentration en A_1 . Donner l'unité de k .

37) Résoudre l'équation différentielle précédente et montrer que : $\frac{1}{[A_1]} = \frac{1}{[A_1]_0} + kt$

$[A_1]_0$ représente la concentration en A_1 à l'état initial.

38) Définir la notion de temps de demi-réaction. L'exprimer en fonction des données.

Etude de la molécule de sel

La chlore a pour symbole ${}^{35}_{17}\text{Cl}$.

39) Donner la composition d'un atome de cet élément.

40) En citant les règles qui permettent de l'obtenir, donner la configuration électronique du chlore dans son état fondamental.

41) En déduire la formule de l'ion monoatomique le plus stable de cet élément. Justifier.

Le chlorure de sodium cristallise sous la forme d'un réseau cubique faces centrées où la maille des ions chlorure est décalée d'une demi-arête par rapport aux ions sodium.

42) Représenter une maille de ce cristal. On appellera a son paramètre de maille. Déterminer le nombre d'ions chlorure et d'ions sodium dans une maille.

43) En déduire la formule chimique de ce cristal. De l'électroneutralité du cristal, déduire la charge de l'ion sodium. A quelle famille de la classification périodique l'élément sodium appartient-il ?

44) Un logiciel de simulation nous permet de déterminer le paramètre $a = 564\text{pm}$ de la maille. A partir de cette unique donnée est-il possible de déterminer le rayon r_{Cl} de l'ion chlorure et le rayon r_{Na} de l'ion sodium ? Justifier.