



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE  
DE L'ÉCONOMIE, DE L'INDUSTRIE  
ET DE L'EMPLOI

MINISTÈRE  
DU BUDGET, DES COMPTES PUBLICS  
ET DE LA FONCTION PUBLIQUE

# CONCOURS EXTERNE POUR LE RECRUTEMENT DE TECHNICIENS SUPÉRIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES

SESSION 2009

ÉPREUVE ÉCRITE n°3  
du mercredi 25 février 2009

## PHYSIQUE

**(Durée : 3 heures – coefficient : 2)**

L'usage d'une calculatrice de poche est autorisé (standard, programmable ou alphanumérique) à condition qu'elle soit autonome et qu'elle ne comporte pas de dispositif d'impression, ni de dispositif externe de stockage d'information (cassette, bandes magnétiques, etc.).

**Les notices de fonctionnement ne sont pas autorisées.**

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.

**TOUTE NOTE INFÉRIEURE À 6 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE.**

Les différents exercices de ce sujet sont indépendants et, dans chaque exercice, de nombreuses questions sont indépendantes.

### Exercice I : Satellite et environnement

Envisat est un satellite européen d'étude de l'environnement lancé en 2002. Parmi tous les instruments d'observation et de mesure à son bord, un spectromètre d'absorption à balayage détermine la quantité globale d'ozone et des gaz contenus dans l'atmosphère ainsi que leur répartition à différentes altitudes ; il établit une cartographie de l'atmosphère terrestre et mesure la migration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

On s'intéresse au mouvement de ce satellite S, de masse  $m_s$ , en orbite circulaire (rayon  $r$ ) autour de la Terre de masse  $M_T$ , de rayon  $R_T$  et de centre O.

On suppose que la Terre est une sphère, qu'elle présente une répartition de masse à symétrie sphérique et que le satellite peut être assimilé à un point.

**I.1.** Préciser les caractéristiques du vecteur accélération  $\vec{a}$  d'un point animé d'un mouvement circulaire uniforme de rayon  $r$  et de vitesse  $v$ .

**I.2.** Énoncer la loi de la gravitation universelle. On appelle  $G$  la constante de gravitation universelle. Faire un schéma sur lequel les vecteurs-forces sont représentés.

**I.3.** Le satellite S est à l'altitude  $h$  : on a donc  $r = R_T + h$ .

On appelle  $\vec{F}_s$  la force qu'exerce la Terre sur le satellite. Cette force dépend de la position du satellite et on pose  $\vec{F}_s = m_s \vec{g}(h)$ . On note  $\vec{g}(h)$  la valeur du vecteur intensité de la pesanteur  $\vec{g}(h)$  à l'endroit où se trouve le satellite.

Exprimer  $\vec{g}(h)$  en fonction de  $M_T$ ,  $R_T$ ,  $h$  et  $G$  puis  $g(h)$  en fonction de  $R_T$ ,  $h$  et  $g_0 = g(0)$ .

**I.4.** Appliquer la deuxième loi de NEWTON (ou relation fondamentale de la dynamique) au satellite en orbite circulaire.

En déduire l'expression de la vitesse  $v_s$  du satellite en fonction de  $g_0$ ,  $R_T$  et  $h$  puis celle de sa période de révolution  $T_s$ .

**I.5.** Application numérique.

Calculer  $v_s$  et  $T_s$  sachant que  $g_0 = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$  ;  $h = 800 \text{ km}$  et  $R_T = 6400 \text{ km}$ .

### Exercice II : Radiosondage de l'atmosphère

On étudie le comportement d'un ballon dans la troposphère où l'on suppose que la température décroît linéairement ( $T = T_0 - az$ ) avec  $a = 9,8 \text{ K.km}^{-1}$  quand l'altitude augmente. La température et la pression au sol sont  $T_0 = 288 \text{ K}$  et  $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ .

*Le radiosondage est une technique de mesure en altitude des propriétés de l'atmosphère par ballon sonde ascendant. Un tel ballon, fermé et rempli d'un gaz plus léger que l'air (du dihydrogène ou de l'hélium), est soumis, à cause de la poussée d'Archimède, à une force ascensionnelle qui le propulse dans l'atmosphère. Il s'élève alors à une vitesse de l'ordre de  $5 \text{ m.s}^{-1}$  jusqu'à ce que la dilatation du gaz contenu dans son enveloppe provoque son éclatement, généralement observé vers 30 km d'altitude. Après éclatement de l'enveloppe du ballon, un parachute permet la récupération des équipements embarqués.*

L'air et l'hélium sont considérés comme des gaz parfaits d'équation d'état :

$P V = (m/M) R T$  avec  $R = 8,31$  USI (unité du système international)

Un ballon sonde sphérique, dont le volume  $V$  varie sous l'effet de la dilatation, **fermé** et placé dans l'air, contient une masse  $m$  d'hélium (de masse molaire  $M_{\text{He}} = 4 \text{ g.mol}^{-1}$ ). Ses accessoires (de volume négligeable) et son enveloppe ont une masse  $m_0 = 750 \text{ g}$ . **On admet qu'à toute altitude  $z$ , les pressions et températures sont identiques à l'extérieur et à l'intérieur du ballon.**

**II.1.** Le ballon est gonflé au sol de sorte qu'à la température  $T_0$  et pour une pression extérieure  $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ , le volume  $V_0$  soit de  $1,77 \text{ m}^3$ . Quelle masse d'hélium  $m$  faut-il utiliser ?

**II.2.** On appelle force ascensionnelle  $F_0$ , la force résultante à l'altitude  $z = 0$  des forces extérieures exercées sur l'ensemble { ballon + gaz }.

**II.2.1.** Donner l'expression du poids  $P$  de l'hélium contenu dans le ballon.

**II.2.2.** Donner l'expression du poids  $P_0$  des accessoires et de l'enveloppe.

**II.2.3.** Donner l'expression de la poussée d'Archimède  $F_A$  s'exerçant sur le ballon. On appellera  $\rho_0 = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$  la masse volumique de l'air au niveau du sol.

**II.2.4.** Représenter ces forces sur un schéma sans souci d'échelle.

**II.2.5.** En déduire l'expression de  $F_0$  en fonction de  $V_0$ ,  $m_0$ ,  $m$ ,  $g$  et  $\rho_0$ .

**II.2.6.** A partir de quelle valeur maximale  $m_{0\text{max}}$  de  $m_0$  le ballon ne pourra-t-il pas décoller ?

**II.3.1.** L'air atmosphérique étant assimilé à un gaz parfait, exprimer sa masse volumique  $\rho$  en fonction de sa température  $T$ , sa pression  $P$ , sa masse molaire  $M$  et de la constante des gaz parfaits  $R$ .

**II.3.2.** Rappeler la relation fondamentale de la statique des fluides.

**II.3.3.** Montrer alors que, dans le modèle d'atmosphère proposé, la pression à l'altitude  $z$  est donné par :

$$\text{Ln} \left[ \frac{P(z)}{P_0} \right] = \frac{Mg}{Ra} \text{Ln} \left[ \frac{T(z)}{T_0} \right]$$

où  $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$  est la masse molaire de l'air et  $T(z)$  la température à l'altitude  $z$ .

**II.3.4.** Montrer que la pression à l'altitude  $z$  peut s'écrire sous la forme :

$$P(z) = P_0 \left[ \frac{T(z)}{T_0} \right]^x$$

où  $x$  est une constante que l'on exprimera en fonction de  $M$ ,  $g$ ,  $R$  et  $a$ . Calculer numériquement  $x$ . Quelle est l'unité de  $x$  dans le Système International ?  
On prendra  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

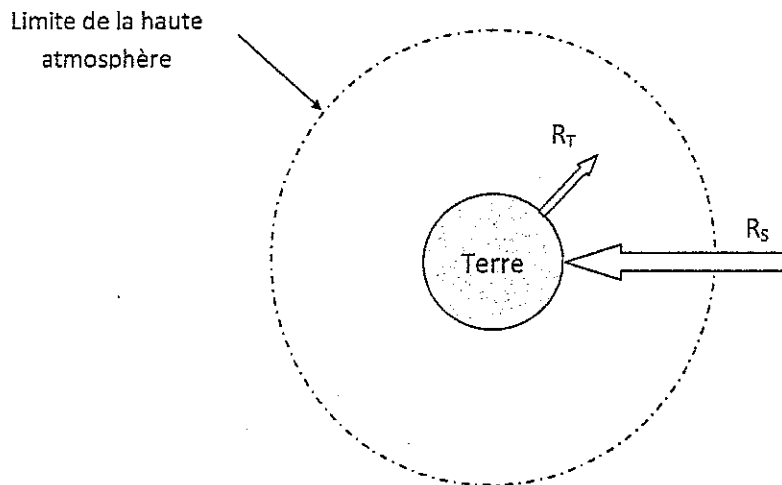
**II.3.5.** Sachant que le volume maximal possible du ballon est  $V_M = 33,5 \text{ m}^3$ , calculer la température puis l'altitude maximale atteinte par ce ballon avant son éclatement.

### Exercice III : Effet de serre

L'effet de serre est avant tout un phénomène naturel. Il permet à notre planète de maintenir une température moyenne à la surface du globe de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sans celui-ci, cette température moyenne serait de l'ordre de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Il existe un effet de serre additionnel, dû à l'importance des rejets notamment en dioxyde de carbone, qui risque de compromettre l'équilibre climatique.

Pour comprendre l'effet de serre, on retiendra la modélisation très simplifiée suivante :

- une énergie thermique  $R_S$  parvient à la surface de la Terre sous la forme d'un rayonnement électromagnétique solaire. Les fréquences de ces radiations sont principalement celles du spectre visible,
- la Terre recevant cette énergie doit la restituer vers l'espace. Cette restitution d'énergie  $R_T$  se fait sous la forme d'un rayonnement électromagnétique terrestre, essentiellement situé dans l'infrarouge. L'équilibre est assuré lorsque  $R_S = R_T$ ,
- l'atmosphère peut alors jouer un rôle de couvercle pour ces radiations en absorbant les radiations  $R_T$ , retenant ainsi l'énergie émise par la Terre et la réémettant partiellement vers l'espace. Le dioxyde de carbone intervient dans ce processus.



**III.1.** Rappeler sur un axe gradué en longueurs d'onde, les valeurs limites du spectre visible dans le vide, ainsi que les couleurs associées à ces limites. Ces valeurs limites seront données en micromètre ( $\mu\text{m}$ ) et nanomètre (nm).

**III.2.** Nommer et situer les domaines de radiations situés au-delà de chacune de ces limites.

**III.3.** Pour une onde électromagnétique dans le vide, quelle relation littérale relie sa longueur d'onde  $\lambda_0$ , sa fréquence  $f$  et sa célérité  $c$  ?

Par la suite on considérera  $c = 3,00 \cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Pour comprendre les vibrations de la molécule de dioxyde de carbone, il faut considérer qu'elle absorbe certaines radiations électromagnétiques susceptibles de la mettre en mouvement vibratoire. Si la fréquence du rayonnement électromagnétique est la même que sa fréquence propre de vibration mécanique, alors il y a absorption de ce rayonnement.

**III.4.** La fréquence propre de vibration de la molécule de dioxyde de carbone vaut  $f_0 = 2,00 \cdot 10^{13}\text{ Hz}$ . Déterminer la longueur d'onde  $\lambda_0$  du rayonnement électromagnétique correspondant que peut absorber le dioxyde de carbone. On mettra la valeur calculée en micromètre.

III.5. Dans quelle gamme du spectre de la question III.2. se situe la longueur d'onde calculée ?

III.6. Expliquer alors pourquoi le dioxyde de carbone atmosphérique peut piéger une part de l'énergie thermique émise par la surface terrestre.

### Exercice IV : Surveillance de la qualité de l'air

Pour assurer une surveillance et informer la population en matière de qualité de l'air, une station de mesure prélève un échantillon d'air, mesure la concentration du polluant et transmet ces informations.

Le principe de la mesure de la concentration d'ozone utilise l'émission de radiations UV à travers l'échantillon d'air. Après étalonnage, un capteur permet de détecter la présence d'ozone et sa concentration dans l'air notée  $Z$ .

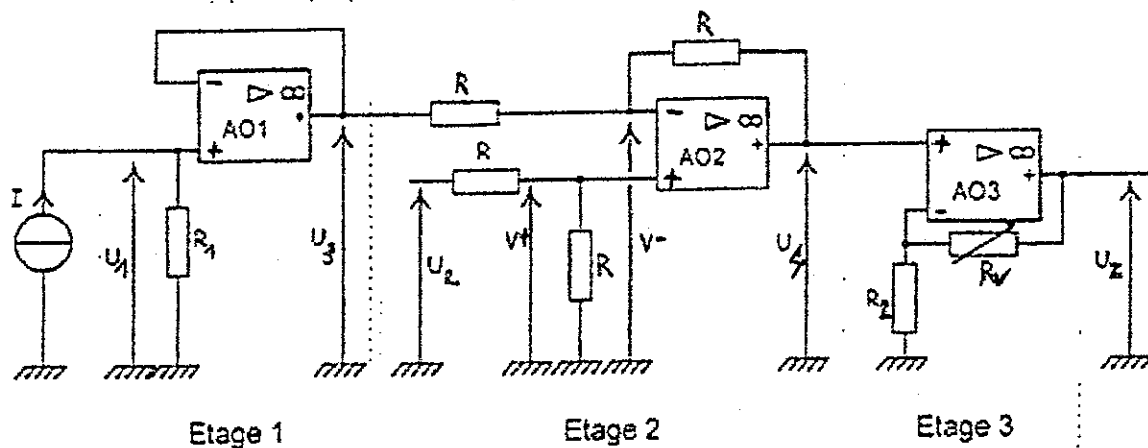
La sortie de ce capteur peut être assimilée à une source de courant idéale débitant un courant continu  $I$  qui dépend de la concentration  $Z$  suivant la relation :

$$I = -10^{-8} Z + 10^{-4} \quad \text{unité de } I : \text{A} \quad \text{unité de } Z : \mu\text{g.m}^{-3}$$

IV.1.1. La plage de mesure de la concentration d'ozone s'étendant de 0 à  $1000 \mu\text{g.m}^{-3}$ , donner la plage de variation de  $I$  en  $\mu\text{A}$ .

IV.1.2. Tracer sur votre copie la courbe représentative de la fonction  $I = f(Z)$  en précisant les valeurs numériques remarquables.

Avant d'être traitée par un convertisseur analogique-numérique, l'information issue du détecteur est d'abord mise en forme. On réalise pour cela le schéma de la figure ci-dessous :



Les amplificateurs opérationnels sont considérés comme parfaits (Les intensités des courants entrant dans les entrées inverseuses  $-$  et non inverseuses  $+$  valent  $I^+ = I^- = 0 \text{ A}$  et la tension entre les entrées  $\varepsilon = V^+ - V^- = 0 \text{ V}$ ). Aucune connaissance supplémentaire sur les amplificateurs opérationnels autre que les lois données ci-dessus n'est nécessaire pour traiter cette partie.

#### IV.2. Etage 1

IV.2.1. En appliquant la loi d'additivité des tensions ou loi des mailles, établir une relation entre  $U_1$  et  $U_3$  puis entre  $U_1$  et  $I$ .

IV.2.2. En déduire que la tension  $U_3$  peut se mettre sous la forme  $U_3 = -a Z + U_a$ .

IV.2.3. Calculer  $a$  et  $U_a$ , et préciser leurs unités. On donne  $R_1 = 10^5 \Omega$ .

### IV.3. Etage 2

IV.3.1. En exprimant d'une part  $V^-$  en fonction de  $U_3$  et  $U_4$ , d'autre part  $V^+$  en fonction de  $U_2$ , montrer que l'on obtient en sortie :  $U_4 = U_2 - U_3$ .

IV.3.2. On donne  $U_2 = 10 \text{ V}$ . Exprimer alors  $U_4$  en fonction de  $Z$ .

### IV.4. Etage 3.

IV.4.1. Etablir l'expression de  $U_Z$  en fonction de  $R_2$ ,  $R_v$  (potentiomètre de réglage) et  $U_4$ .

IV.4.2. On désire obtenir  $U_Z = 5 \text{ V}$  pour  $Z = 1000 \mu\text{g.m}^{-3}$  et  $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ . A quelle valeur doit-on régler  $R_v$  pour satisfaire cette condition ?

IV.4.3. Exprimer alors numériquement  $U_Z$  en fonction de  $Z$ . Préciser les unités. Quel est le rôle de ces trois étages ?