ECOLE CENTRALE PARIS — ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRICITE
ECOLE CENTRALE DE LYON — ECOLE SUPERIEURE D'OPTIQUE

**Concours d'admission 1990**

**Physique I** **T . A**

(2 pages dactylographiées)

Nous nous proposons, dans ce problème, d'examiner quelques questions relatives aux phénomènes électriques dont l'atmosphère est le siège.

## 1ère Partie

L'état électrique de l'atmosphère, par beau temps, peut être modélisé comme suit : le sol et l'ionosphère, parfaitement conducteurs, forment les armatures d'un condensateur sphérique dont l'atmosphère constitue le diélectrique.

**1.a)** Déterminer la capacité d'un condensateur dont l'une des armatures est une sphère de rayon $R_1$ et l'autre une sphère de rayon $R_2 > R_1$ concentrique à la précédente.
Application numérique pour $R_1 = 6{,}4.10^3$ km, et $R_2 - R_1 = 15$ km.
La constante diélectrique de l'air est pratiquement celle du vide, $\varepsilon_0 = 8{,}84.10^{-12}$ S.I.

**1.b)** Diverses mesures montrent que le champ électrique au niveau du sol est de l'ordre de 150 V/m et que la Terre est chargée négativement. Quelles sont la charge totale de la Terre et la différence de potentiel entre le sol et la haute atmosphère ?

Les candidats ne s'étonneront pas de la valeur trouvée ici, un peu supérieure à celle généralement admise, et qui résulte de la simplicité du modèle retenu.

**2)** En fait, l'atmosphère est légèrement conductrice en raison de la présence d'ions des deux signes capables de se déplacer sous l'action du champ électrique régnant dans l'atmosphère.

On considère en particulier les "petits ions" de charge positive ou négative $e = 1{,}6.10^{-19}$ C. La mobilité des ions positifs est $k_+ = 1{,}4.10^{-4}$ m$^2$/V.s et celle des ions négatifs est $k_- = 1{,}9.10^{-4}$ m$^2$/V.s. On rappelle qu'un ion de mobilité k placé dans le champ électrique $\vec{E}$ acquiert la vitesse $\vec{v} = k\,\vec{E}$.

a) Déterminer la densité du courant de conduction produit par le mouvement des ions. En déduire le courant global air-terre pour l'ensemble du globe. On prendra pour valeur moyenne de la concentration c en ions de chaque signe c = 500 cm$^{-3}$.

b) Quel est le temps au bout duquel la charge terrestre serait réduite au centième de sa valeur initiale par l'apport de charges de signe contraire, en admettant que le courant dû au phénomène précédent soit le seul en cause ?

## 2ème Partie

Le champ électrique terrestre existant depuis un temps très supérieur à celui déterminé dans la question précédente, il existe un mécanisme capable de recharger le condensateur terrestre. L'hypothèse généralement admise est qu'il s'agit des orages.

1) On considère un doublet - ou dipôle - électrique (-q, +q, 2b). Calculer le champ créé en tout point de l'espace par ce doublet, à une distance grande devant b. On fera les approximations correspondantes.

2) Une charge q est placée à la distance b d'un plan conducteur, indéfini, maintenu au potentiel V = 0. On admet que le champ électrique créé par cet ensemble est, dans le demi-espace contenant la charge q, le même que celui créé par la charge q et une charge -q, symétrique de q par rapport au plan. Soit O et P deux points du plan conducteur. O est situé à la distance minimale de la charge q. On pose OP = r.

a) Déterminer le champ électrique au voisinage de P, dans le demi-espace contenant q.

.../... Tourner la Page

.../... Suite page 2

b) Déterminer la densité $\sigma$ de charge superficielle sur le plan conducteur en fonction de la distance $r = OP$.

c) En déduire la charge totale portée par le plan.

d) Quelle force exerce la charge $q$ sur le plan ?

3) Un nuage orageux peut être assimilé à l'ensemble de deux charges, une charge $Q = 20$ C située à l'altitude $H = 6$ km et une charge $-Q$ placée à l'altitude $h = 3$ km, sur la même verticale que Q.

a) Calculer le champ électrique créé par le nuage en un point situé au voisinage immédiat du sol, supposé parfaitement conducteur, à la distance $r$ de la verticale du nuage.

b) Tracer la courbe $E(r)$, pour $r \leq 10$ km .

4. a) On veut étudier l'effet de décharge par pointe sur l'herbe située au sol sous le nuage. L'expérience montre qu'il faut que le champ soit supérieur à une valeur critique $E_m = 20$ kV/m pour que l'effet se manifeste. Evaluer la valeur $r_m$ de $r$ qui correspond à $E_m$.

b) Ecrire l'intégrale par laquelle on peut exprimer l'intensité totale I produite par effet de pointe sous le nuage, sachant que la densité de courant correspondante est $j = \alpha(E - E_m)$ où $\alpha = 10^{-2}$ S.I.
Evaluer numériquement cette intensité I.

## 3ème Partie

Au cours d'un orage, des éclairs jaillissent entre les nuages et le sol. Un éclair peut être assimilé à un courant rectiligne de diamètre $D = 25$ cm transportant un courant d'intensité $I = 10^5$ A. On donne $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ S.I.

1.a) Calculer le champ magnétique créé par l'éclair en fonction de la distance $d$ à l'axe de l'éclair. On admettra pour fixer les idées que l'éclair est vertical et que la densité de courant y est uniforme.

b) Une aiguille de boussole est un aimant permanent. Elle peut se désaimanter lorsqu'elle est placée dans un champ supérieur à $2{,}4.10^{-3}$ T. Jusqu'à quelle distance du point de chute de l'éclair la boussole risque t-elle d'être désaimantée ?

2.a) Lorsque la foudre tombe sur un paratonnerre, l'électricité est conduite vers le sol par des conducteurs métalliques. Sous l'effet du courant les conducteurs s'échauffent par effet Joule. Nous pouvons admettre que le conducteur n'a pas le temps d'échanger de chaleur avec l'air environnant, le temps de passage du courant étant très bref, que nous prendrons égal à 1 ms.
Déterminer en fonction du rayon $r$ du conducteur la température $\theta_1$ atteinte juste après le passage du courant. On donne la résistivité du conducteur $\rho = 7.10^{-8}\ \Omega$.m, sa chaleur massique $c = 384$ J/kg.K et sa masse volumique $\mu = 8{,}6.10^3$ kg.m$^{-3}$, la température ambiante est $\theta_o = 20°$C.

b) La température de fusion de ce conducteur étant $\theta_f = 900°$C, quel rayon, au minimum, doit-on donner au conducteur pour éviter qu'il ne fonde lorsque le paratonnerre est frappé par la foudre ?

c) Après le passage du courant, le conducteur se refroidit dans l'air. On admet, étant donné sa très bonne conductibilité thermique, que sa température est uniforme à chaque instant. On suppose que le transfert de chaleur entre le métal et l'air suit la loi de Newton : $dQ = hS(\theta - \theta_o)\,dt$ où S est la surface latérale du conducteur, $\theta_o$ la température de l'air supposée constante et égale à 20°C et où $h = 1{,}7.10^{-2}$ W.m$^{-2}$K$^{-1}$.
Après combien de temps la différence de température entre le conducteur et l'air ambiant est elle réduite à 0,1°C lorsque le conducteur a pour rayon $r = 3$ mm ? Quelles(s) conclusions(s) vous inspire ce résultat ?

***

**

*