CONCOURS NATIONAL D'ADMISSION DANS LES GRANDES ECOLES D'INGENIEURS

(Concours national DEUG)

Epreuve commune aux 3 options (Mathématiques, Physique, Chimie)

PHYSIQUE - PARTIE I

Mardi 16 mai : 8 h - 10 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.

Les calculatrices sont autorisées

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est interdit.

Les quatre parties sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Partie A - Exploitation d'un oscillogramme

Un dipôle électrocinétique **MN** est constitué, en série, d'un résistor de résistance R, d'une bobine d'inductance L et de résistance r négligeable, et d'un condensateur de capacité C. Ce dipôle est alimenté par une source de tension alternative sinusoïdale (« GBF ») d'impédance interne négligeable. Les câbles de connexion sont de résistance négligeable. Un oscilloscope bicourbe à mémoire numérique permet d'étudier :

- sur la voie **A**, la tension $u_A(t) = V_P - V_M$ aux bornes du résistor ;
- sur la voie **B**, la tension $u_B(t) = V_N - V_M$ aux bornes du dipôle **MN** (figure **A.1**).

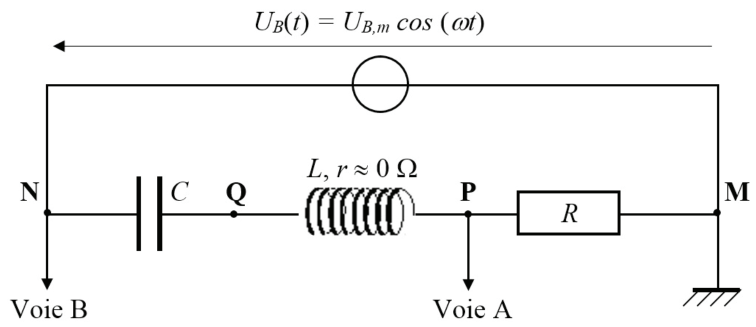

Figure **A.1**

L'oscillogramme (ou copie d'écran de l'oscilloscope), ainsi que les indications sur l'échelle commune utilisée pour les deux voies (axe des ordonnées en volts et axe des abscisses en millisecondes), sont présentés sur la figure **A.2**. Le but de l'exercice est d'exploiter le graphe et de déterminer la valeur de l'inductance L de la bobine.

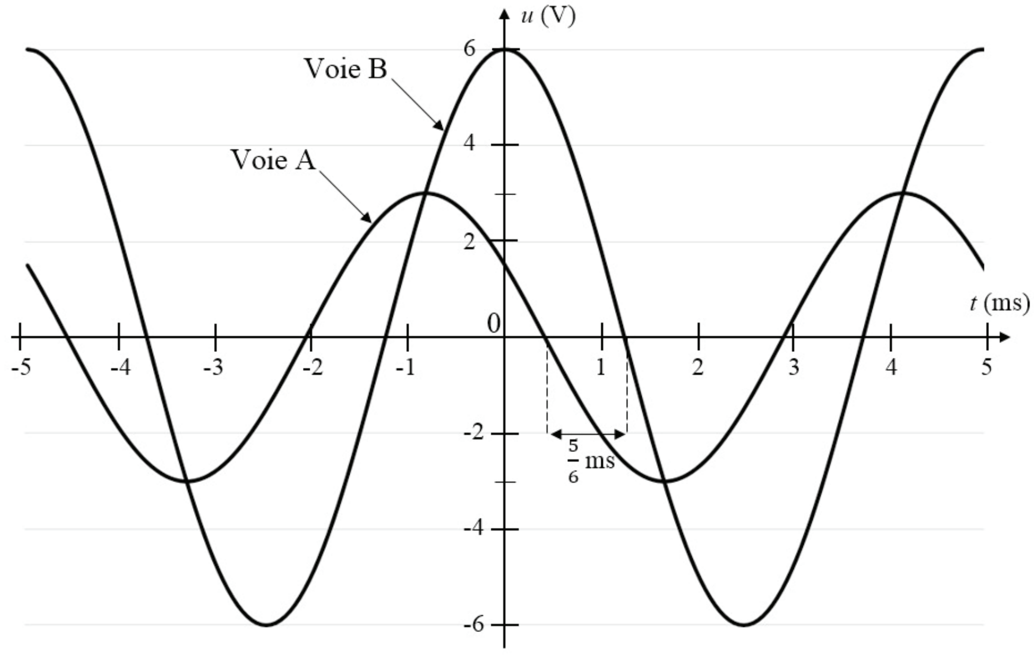

Figure **A.2**

Données : $R = 1{,}0 \times 10^3\ \Omega$; $C = 4{,}5 \times 10^{-7}$ F.

1. Évaluer la période T, la fréquence f ainsi que la pulsation $\omega\ (= 2\pi f)$ de ce régime sinusoïdal forcé.

2. Laquelle des deux tensions, u_A ou u_B, est en avance sur l'autre ?

3. En posant $u_A(t) = U_{A,m} \cos(\omega t + \varphi)$, déterminer le signe et la valeur numérique du déphasage φ.

4. Calculer l'inductance L de la bobine : expression littérale et application numérique.

Partie B - Foudre et tension de pas

Il s'agit, dans cet exercice, d'étudier la tension qui se développe entre les points de contact au sol d'un être vivant (personne ou animal) au voisinage d'un coup de foudre.

Document 1 (*d'après le site Web de « Frédéric ÉLIE »*) http://fred.elie.free.fr

Lors d'un orage, s'installe entre la base du nuage (cumulonimbus) et le sol, selon un processus complexe, une différence de potentiel très élevée, ce qui peut entraîner une décharge électrique (coup de foudre).

Lors de l'impact de la foudre sur un objet, l'intensité du courant I est imposée et la tension U qui se développe à ses bornes dépend de la résistance R de cet objet, conformément à la loi d'Ohm. L'énergie reçue par l'objet lors du coup de foudre est d'autant plus élevée (donc destructrice) que la résistance est élevée et la durée de passage du courant allongée. Un objet bon conducteur de l'électricité (R faible) ne subira donc pas de dégâts importants lors du coup de foudre. C'est le cas des paratonnerres, des plantes riches en sève, des habitats et installations bien mis à la terre, etc. En revanche, pour des résistances élevées, le coup de foudre peut provoquer des incendies et des destructions mécaniques.

À l'inverse, lorsque c'est la tension qui est imposée aux bornes d'un objet, l'intensité qui le traverse dépend de sa résistance, toujours conformément à la loi d'Ohm. L'énergie reçue est cette fois inversement proportionnelle à la résistance et elle est donc d'autant plus dangereuse que la résistance est faible. Cette situation se présente, par exemple, avec la tension de pas : la tension imposée est celle qui se développe entre les points de contact au sol (pieds d'une personne ou pattes d'un animal) au voisinage d'un coup de foudre. Elle est liée au fait qu'une source de courant, créée en un point d'impact, est responsable, même durant une fraction de seconde, d'un champ électrique au sol, donc d'une tension, qui varie en fonction de la distance à la source. Entre deux points différents en contact avec le sol, séparés d'une distance appelée pas, existe donc une différence de potentiel, ou tension de pas, d'autant plus élevée que le pas est important. Lors d'un foudroiement la tension de pas peut atteindre plusieurs milliers de volts et donc être dangereuse pour le corps humain par suite du courant électrique dont il devient le siège. La tension de pas existe aussi lorsqu'un conducteur sous tension est tombé à terre.

Le phénomène de tension de pas incite alors, en cas d'orage, à se déplacer par petits pas tout en s'écartant des objets susceptibles d'attirer la foudre par pouvoir des pointes. Il est également recommandé de ne pas rester dressé dans un endroit dégagé : en effet un homme isolé, debout, de 1,80 m, représente une pointe qui pourrait attirer la foudre. Il faut chercher à offrir le moins de surface au sol et à l'atmosphère, tout en étant éloigné des protubérances : la meilleure méthode est de se recroqueviller dans un espace creux.

Document 2 (*d'après le site Web du « Dr GAÜZERE »*)
http://www.stethonet.org/fmc/electroc.htm

I. Réponses du corps humain à l'intensité I_h du courant qui le traverse

Intensité I_h (mA)	0,20 à 0,40	10 à 15	15 à 25	65 à 95
Réaction : début de…	Sensation	Tétanisation muscles	Blocage respiration	Arythmie cardiaque

Un courant de plus de 100 mA crée une fibrillation ventriculaire (trouble sévère du rythme cardiaque qui désorganise complètement l'activité électrique des ventricules et qui peut entraîner un arrêt cardiaque).

II. Résistance R_h du corps humain entre ses deux pieds

R_h est la résistance du corps humain mesurée entre ses deux pieds séparés.

Protection des pieds	Sans protection (pieds nus)	Pieds chaussés de bottes de caoutchouc
Résistance R_h (Ω)	$1{,}5 \times 10^3$	$5{,}0 \times 10^4$

Tout point de l'atmosphère est rapporté, en coordonnées cartésiennes, à un repère orthonormé direct (Ox, Oy, Oz) de base ($\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$). La surface terrestre, confondue avec le plan xOy, sépare l'atmosphère du sol. Tout point M du sol et du sous-sol peut, en revanche, être repéré par ses coordonnées sphériques (r, θ, φ), avec $\overrightarrow{OM} = r\,\vec{e}_r$.

Le coup de foudre peut être modélisé par un courant continu d'intensité I, se propageant depuis la base du nuage (cumulonimbus), le long d'une ligne conductrice verticale (demi-droite Oz), vers le point O, point d'impact au sol. L'ensemble sol-sous-sol est considéré comme un milieu neutre, homogène et isotrope et aussi comme un conducteur ohmique de conductivité électrique σ uniforme et constante. À partir du point O, les charges se dispersent radialement dans la terre avec le vecteur densité de courant $\vec{j}(r) = j(r)\,\vec{e}_r$ (figure **B.1**). Ce milieu conducteur satisfait donc à la loi d'Ohm $\vec{j}\,(r) = \sigma\,\vec{E}(r)$. Le potentiel $V(r)$ et le champ électrique $\vec{E}(r)$ satisfont à la relation locale $\vec{E}(r) = -\,\overrightarrow{\text{grad}}\;V(r)$.

Données :
- surface S d'une sphère (complète) de rayon r : $S = 4\,\pi r^2$;
- expression du vecteur gradient d'un scalaire V en coordonnées sphériques :

$$\overrightarrow{\text{grad}}\,V = \frac{\partial V}{\partial r}\,\vec{e}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial \theta}\,\vec{e}_\theta + \frac{1}{r\sin\theta}\,\frac{\partial V}{\partial \varphi}\,\vec{e}_\varphi.$$

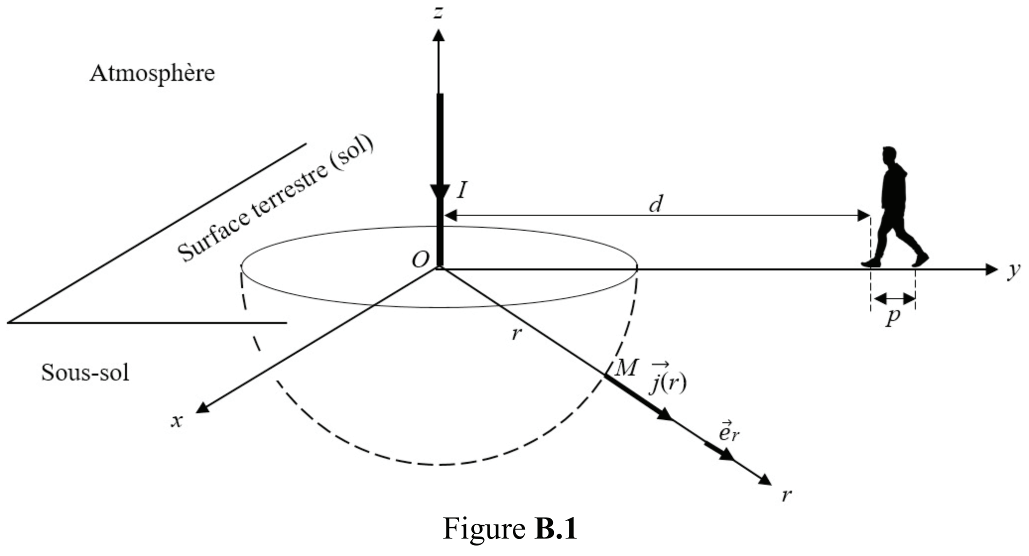

Figure **B.1**

1. Déterminer, en fonction des grandeurs I et r, l'expression vectorielle du vecteur densité de courant $\vec{j}(r)$ en un point M de l'ensemble sol-sous-sol ($z \leq 0$ et $r \neq 0$).

2. Le potentiel V est supposé nul à l'infini (convention) : $V(r \to \infty) = 0$ V. En exploitant la relation entre $\vec{j}(r)$ et $\overrightarrow{\text{grad}}\ V(r)$, établir l'expression du potentiel $V(r)$ pour $z \leq 0$.

3. Préciser la forme (ou la géométrie) des surfaces équipotentielles correspondantes.

4. Déterminer la tension (ou différence de potentiel) $\Delta V = V(d) - V(d+p)$ entre deux points du sol assez proches l'un de l'autre ($p << d$) et situés respectivement aux distances d et $d+p$ du point d'impact O. L'approximation $d \times (d+p) \approx d^2$ peut être appliquée.

5. *Applications numériques* :

I (A)	σ (S m^{-1})	d (m)	p (m)
$2{,}0 \times 10^4$	$1{,}0 \times 10^{-2}$	$2{,}0 \times 10^1$	$8{,}0 \times 10^{-1}$

   a) Un marcheur, situé à la distance d, se dirige vers le point d'impact avec un pas de valeur p (figure **B.1**). Pieds nus ou chaussés de bottes de caoutchouc, que risque le promeneur ? Justifier chacune des réponses par un résultat numérique.
   b) Le phénomène d'électrocution touche-t-il plutôt les petits animaux (hérissons, lapins, chats, etc.) ou les grands animaux (bovins, équidés, cervidés, etc.) ?

6. La foudre est liée au déplacement d'une charge négative colossale en provenance de la base du nuage et qui se dirige vers le sol. Quels sont les signes du courant I et de la densité de courant $j(r)$?

Partie C - Technique de production de feu par friction

Il s'agit, dans cette partie, d'étudier le phénomène de friction entre deux planches débitées dans un même bois et frottées énergiquement l'une contre l'autre et d'évaluer, selon un modèle simplifié, la durée τ nécessaire à l'inflammation de la surface de contact.

L'espace est rapporté, en coordonnées cartésiennes, à un repère orthonormé direct (Ox, Oy, Oz) de base ($\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$). Un bloc de bois (parallélépipède rectangle noté **B**) est posé à plat sur la surface supérieure, confondue avec le plan xOy, d'une planche horizontale (socle), notée **P** (figure **C.1**, page 6). Soit S la surface de contact constante entre les deux morceaux de bois. Les caractéristiques du bois, toutes uniformes et constantes, sont les suivantes : λ conductivité thermique, ρ masse volumique et c coefficient (ou capacité) thermique massique.

À l'instant initial $t = 0$ s, un opérateur exerce, sur le bloc **B**, une action qui a pour but d'entraîner ce dernier dans un mouvement de translation rectiligne (en réalité des mouvements de va et vient), parallèlement à l'axe Ox, à vitesse $v = \|\vec{v}\|$ constante, tout en exerçant une pression sur le bloc afin d'augmenter les frottements. L'action de l'opérateur peut donc se décomposer en deux forces orthogonales l'une par rapport à l'autre :

- $\vec{F}_T$ tangentielle, parallèle à l'axe Ox, de même sens que $\vec{v}$ et opposée aux frottements ;
- $\vec{F}_N$ normale à la surface de glissement et dirigée vers le bas selon $-\vec{e}_z$.

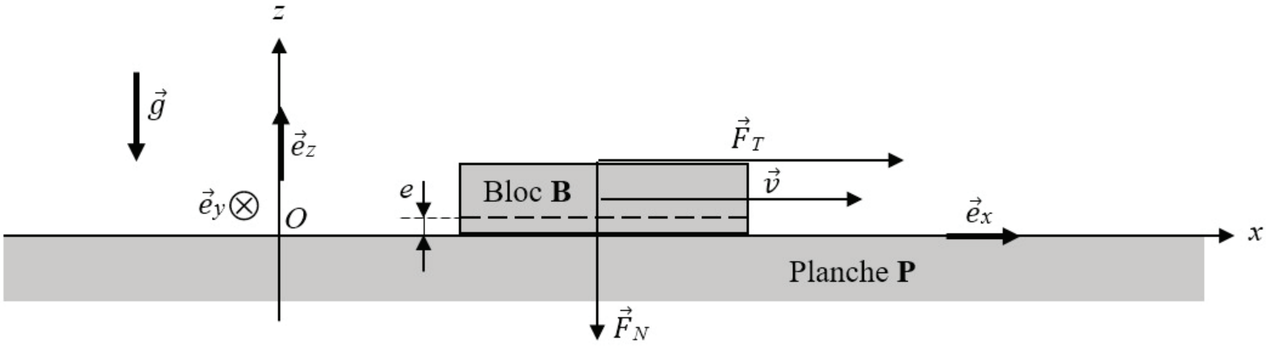

Figure **C.1**

Le bloc est donc soumis à son poids (qui est <u>négligé</u>), à la force de pression normale $\vec{F}_N$ de l'opérateur, à la réaction du support $-\vec{F}_N$, à la force de frottement tangentielle $-\vec{F}_T$ de norme $F_T = f \,.\, F_N$ (loi de Coulomb) et à la force motrice tangentielle $\vec{F}_T$ de l'opérateur.
<u>Remarque</u> : f (constante positive) est le coefficient de frottement dynamique ou coefficient de glissement. Les moments des forces sont négligés.

Les frottements, au niveau de la surface de contact entre **B** et **P**, entraînent une dégradation de l'énergie mécanique en énergie thermique. Au cours du temps, la chaleur diffuse dans les solides, de part et d'autre de la surface de frottement. Le modèle envisagé suppose que la part d'énergie thermique reçue par **B**, pendant la durée τ, entraîne une élévation de température ΔT de la couche superficielle de bois d'épaisseur e où la chaleur s'est uniformément répartie.

1. Exprimer, en fonction de f, F_N et dx, le travail élémentaire δW de la force de frottement $-\vec{F}_T$ au cours du déplacement $\overrightarrow{dx} = dx\,\vec{e}_x$ (avec $dx > 0$) du bloc **B**.

2. En déduire que cette force de frottement dissipe, au cours du mouvement à vitesse v constante, une puissance thermique $\mathcal{P}_{th}$, comptée positivement, qui s'écrit : $\mathcal{P}_{th} = f \,.\, F_N \,.\, v$.

3. Le mouvement de va et vient (toujours selon l'axe Ox) permet de réduire les échanges thermiques avec l'atmosphère. Il est donc possible d'admettre que, pendant la durée τ, la puissance $\mathcal{P}_{th}$ se distribue, sous forme thermique, <u>pour moitié</u> dans chacun des objets de bois **B** et **P**. Exprimer la durée τ en fonction des grandeurs $\mathcal{P}_{th}$, ρ, S, e, c et ΔT.

4. Du fait de la diffusion de la chaleur dans le bois, l'épaisseur e dépend de la durée de friction τ. La relation entre cette épaisseur e et la durée τ est établie grâce à la méthode de l'analyse en ordre de grandeur de l'équation locale de diffusion thermique **(1)** ci-dessous (expression qui n'est pas à démontrer).

L'équation locale de diffusion s'écrit, dans un modèle unidimensionnel et unidirectionnel où la température T ne dépend que de la cote z et du temps t :

$$\left(\frac{\partial T(z,t)}{\partial t}\right)_z = \frac{\lambda}{\rho.c}\left(\frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2}\right)_t \qquad \textbf{(1)}$$

Grâce à l'analyse en ordre de grandeur de **(1)**, exprimer l'épaisseur e en fonction de λ, τ, ρ et c.

5. En déduire l'expression de la durée τ de friction en fonction des grandeurs ρ, S, c, λ, f, F_N, v et ΔT.

6. *Applications numériques* :

f	F_N (N)	v (m s^{-1})	S (m^2)
$3{,}5 \times 10^{-1}$	$4{,}0 \times 10^{1}$	$5{,}0 \times 10^{-1}$	$5{,}0 \times 10^{-4}$

λ (W m^{-1} K^{-1})	ρ (kg m^{-3})	c (J kg^{-1} K^{-1})	ΔT (K)
$1{,}3 \times 10^{-1}$	$3{,}8 \times 10^{2}$	$1{,}6 \times 10^{3}$	$2{,}8 \times 10^{2}$

a) Calculer la durée de friction τ nécessaire à l'obtention d'une braise de sciure, grâce à une élévation $\Delta T = 2{,}8 \times 10^2$ K de la température de la couche superficielle, d'épaisseur e.

b) Calculer cette épaisseur e.

Partie D - Poches et avalanches de fonte en montagne

Il s'agit, dans cet exercice, de modéliser très simplement le rôle des rochers affleurant à la surface du manteau neigeux dans le déclenchement de certains types d'avalanches en montagne. Les rochers, surtout s'ils sont apparents, captent le rayonnement solaire et le restituent au milieu environnant. Cela peut faire fondre la neige localement presque jusqu'au niveau du sol.

Tout point de l'atmosphère est rapporté, en coordonnées cartésiennes, à un repère orthonormé direct (Ox, Oy, Oz) de base ($\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$). La surface confondue avec le plan xOy sépare l'atmosphère de la couche de neige. Tout point M du manteau neigeux peut, en revanche, être repéré par ses coordonnées sphériques (r, θ, φ), avec $\overrightarrow{OM} = r\,\vec{e}_r$. Une sphère pleine (qui symbolise un rocher ou une pierre), notée **S**, de centre O et de rayon R, est imaginée à moitié immergée dans le manteau neigeux (figure **D.1**, page 8).

Hypothèses de travail

- La température T_o et la pression P_o de l'air sont uniformes et constantes en tout point de l'atmosphère.
- La surface de la neige est supposée parfaitement réfléchissante. Tout échange thermique, entre la neige et l'atmosphère, est négligé. Le manteau neigeux est supposé homogène, isotrope et de conductivité thermique λ uniforme et constante. Loin du rocher, la température de la neige vaut T_o, valeur uniforme et constante.
- Le rocher **S** est le seul système qui absorbe l'énergie solaire. La température T_S est supposée uniforme à l'intérieur de **S**, c'est-à-dire en tout point M tel que $OM = r \leq R$.
- La température de la neige qui se trouve au contact du rocher, donc en $r = R$, vaut T_S.
- Soit T_f (> T_o), la température de fusion de la neige. Si $T_S \geq T_f$, la neige autour de **S** se met à fondre. L'énergie mise en jeu, dans le cas d'une éventuelle fonte de la neige, n'est pas prise en compte.
- Le système est envisagé en régime permanent.
- Dans tout l'exercice, les puissances thermiques (ou flux thermiques) sont toutes comptées positivement.

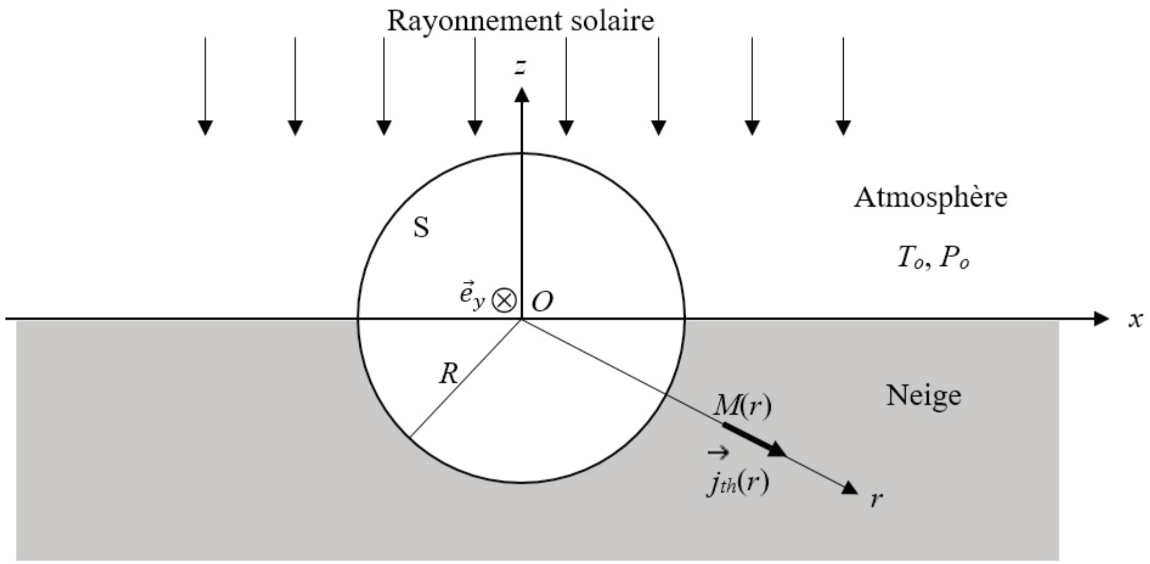

Figure **D.1**

Transferts d'énergie

Le plan xOy est soumis au rayonnement solaire incident, supposé parallèle à l'axe Oz et reçoit une puissance p_{sol} rayonnée par unité de surface plane horizontale (unité de p_{sol} : W m^{-2}).

La surface de contact de l'objet **S** avec l'air atmosphérique correspond à l'aire de la demi-sphère émergée (ou supérieure), surface à travers laquelle les pertes thermiques, transmises à l'air par **S**, sont des pertes par rayonnement et des pertes par échange conducto-convectif :

- les pertes par rayonnement obéissent à la loi de Stefan-Boltzmann qui établit que la puissance p_{ray} rayonnée (positive) par unité de surface de la boule, vers le demi-espace occupé par l'atmosphère, s'écrit : $p_{ray} = 4\,\sigma\,T_o^3\,(T_S - T_o)$ (unité de p_{ray} : W m^{-2}) (formule qui n'est pas à redémontrer), avec σ constante (positive) de Stefan ;
- les pertes par convection au contact de l'air obéissent à la loi, dite de Newton, qui établit que la puissance thermique p_{con} (positive) perdue par unité de surface de la boule, vers le demi-espace occupé par l'atmosphère, s'écrit selon la loi dite de Newton (à admettre) : $p_{con} = h\,(T_S - T_o)$ (unité de p_{con} : W m^{-2}) où h (constante positive) est le coefficient de transfert convectif.

La surface de contact de l'objet **S** avec la neige correspond à l'aire de la demi-sphère immergée (ou inférieure). Les pertes thermiques transmises à la neige par **S**, à travers cette surface, sont des pertes par diffusion thermique qui obéissent à la loi de Fourier. Le vecteur densité de flux thermique $\vec{j}_{th}$, lié à la température $T(r)$ de la neige (pour $r \geq R$), s'écrit ici :

$$\vec{j}_{th}(r) = -\lambda \frac{\partial T(r)}{\partial r}\,\vec{e}_r = j_{th}(r)\,\vec{e}_r.$$

1. Montrer que la puissance totale Φ_{air}, échangée avec l'air par **S**, peut s'écrire sous la forme : $\Phi_{air} = \alpha\,(T_S - T_o)$. Exprimer α en fonction des grandeurs R, h, σ et T_o.

2. Φ_{sol} est la puissance thermique absorbée par **S** grâce au rayonnement solaire.

a) Le rocher **S** n'absorbe qu'une fraction μ du rayonnement solaire incident : exprimer Φ_{sol} en fonction de μ, p_{sol} et R.

b) Φ_{diff} est la puissance échangée par **S** avec la neige par diffusion thermique. Grâce à un bilan de puissance, exprimer, en régime permanent, la puissance Φ_{diff} en fonction des flux Φ_{sol} et Φ_{air}.

3. Dans la neige ($r \geq R$), le flux de chaleur provenant de **S** se conserve de section en section (Φ_{diff} constant).

a) Établir l'équation différentielle qui lie, dans la neige, la température T à la position r.

b) En déduire les expressions :

- de la fonction de distribution $T(r)$ de la température dans la neige, autour du rocher ;
- du flux Φ_{diff} en fonction des grandeurs T_S, T_o, λ et R ;
- de la température T_S en fonction des grandeurs T_o, Φ_{sol}, α, λ et R.

4. *Applications numériques* :

$(Tf - T_o)$ (K)	α (W K^{-1})	λ (W m^{-1} K^{-1})	R (m)	μ
5,0	$9{,}0 \times 10^{-1}$	1,0	$1{,}0 \times 10^{-1}$	$7{,}5 \times 10^{-1}$

a) Calculer, en régime permanent, la puissance solaire p_{sol} rayonnée par unité de surface plane horizontale, à partir de laquelle la neige commence à fondre.

b) En milieu de journée, dans les Alpes vers 2 000 m d'altitude, la puissance p_{sol} passe, en moyenne, de 100 W m^{-2} en décembre à 700 W m^{-2} en mai. Quelle conclusion peut-on en tirer ?

Fin de l'énoncé

IMPRIMERIE NATIONALE – 17 1381 – D'après documents fournis