

PHYSIQUE
Durée : 2 heures

L'usage d'une calculatrice est autorisé pour cette épreuve

Les parties I et II sont indépendantes

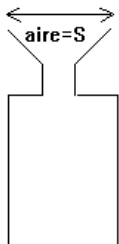
QUELQUES PROBLEMES PHYSIQUES LIES A L'EAU

L'eau joue de façon évidente un rôle capital à la surface de la terre et pour la vie qui s'y est développée. L'importance de l'eau est largement liée aux propriétés électriques de la molécule d'eau. On se propose ici d'étudier quelques problèmes simples liés à l'eau dans l'atmosphère terrestre.

I) **MESURE DE LA PLUIE SUR TERRE :**

1) Mesure du taux de pluie :

Le taux de pluie τ est l'épaisseur d'eau arrivant à la surface du sol par unité de temps. On l'exprime en général en mm/heure ou en mm/jour. L'instrument permettant une telle mesure est un pluviomètre, schématisé sur la figure ci-dessous :



On pèse le pluviomètre avant et après chaque chute de pluie. Exprimer le taux de pluie pour une pluie ayant duré une journée (on posera : $J = 1$ journée) en fonction des masses m_1 et m_2 du pluviomètre avant et après la pluie respectivement, de l'aire S de la surface horizontale supérieure de l'entonnoir et de la masse volumique μ de l'eau.

Application numérique : $m_2 - m_1 = 0,400$ kg, $S = 200$ cm², $\mu = 10^3$ kg.m⁻³. Calculer τ en mètre par jour, puis en millimètre par heure.

2) Mesure de la vitesse des gouttes de pluie :

La seule connaissance du taux de pluie ne suffit pas aux météorologues ; on s'intéresse ici à la vitesse des gouttes de pluie arrivant sur le sol. On peut mesurer cette vitesse par des méthodes optiques.

- a) On suppose qu'une goutte de pluie, qu'on modélisera comme une boule de rayon R et de masse volumique μ à laquelle on peut appliquer les théorèmes de la mécanique du point matériel, est partie d'un point du nuage situé à l'altitude $z = h$ avec une vitesse nulle. On choisit de fixer l'origine des énergies potentielles au niveau du sol : $z = 0$. Exprimer alors pour la goutte de pluie :

- son énergie potentielle de pesanteur lorsqu'elle est à l'altitude h , en fonction de μ , R , g et h ;
 - son énergie potentielle lorsqu'elle arrive sur le sol ;
 - son énergie cinétique lorsqu'elle arrive sur le sol, en fonction de μ , R et v_{sol} , module de sa vitesse lorsqu'elle arrive sur le sol.
- b) En supposant que la goutte d'eau n'est soumise à aucune autre force que son poids, déterminer alors la vitesse v_{sol} de la goutte d'eau lorsqu'elle arrive sur le sol.

Application numérique : $h = 5.10^3 \text{ m}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

- c) En supposant que la goutte d'eau n'est soumise à aucune autre force que son poids et la poussée d'Archimède due à l'air, déterminer alors la vitesse v'_{sol} de la goutte d'eau lorsqu'elle arrive sur le sol.

Application numérique : $h = 5 \text{ km}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$, la masse volumique de l'air est μ_{air} et on donne :
masse volumique de la goutte : $\mu = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et $\mu_{\text{air}}/\mu = 1,3.10^{-3}$.

- d) En fait, la goutte d'eau est également soumise à une force de frottement due à l'air, dont le module est $6\pi\eta R.v(z)$, $v(z)$ étant le module de la vitesse de la goutte de pluie lorsque celle-ci est à l'altitude z et η le coefficient de viscosité dynamique de l'air. Déterminer, en prenant en compte cette force de frottement due à l'air, en plus des forces précédentes, la valeur limite v_{lim} de la vitesse de la goutte dont on donnera l'expression en fonction de η , R , μ , μ_{air} et g .

- e) Montrer que la mesure de la vitesse limite v_{lim} permet de déterminer le rayon R de la goutte. Pour cela, on déterminera le rayon R de la goutte en fonction de η , v_{lim} , g , μ et μ_{air} .

Application numérique : on obtient : $v_{\text{lim}} = 1 \text{ m.s}^{-1}$. On donne : $\eta = 1,8.10^{-5} \text{ SI}$, la masse volumique de la goutte est : $\mu = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et on donne : $\mu_{\text{air}}/\mu = 1,3.10^{-3}$. Calculer numériquement le rayon R de la goutte.

3) Mesure de la charge portée par une goutte de pluie :

Les gouttes d'eau de pluie, au sein d'un nuage, sont en général chargées électriquement. Si l'on veut avoir des renseignements sur la répartition des charges portées par le nuage, on peut donc envisager une expérience permettant de mesurer la charge d'une goutte d'eau. Pour cela, on étudie le problème théorique suivant : la goutte d'eau, qu'on traitera, d'un point de vue mécanique, comme un point matériel, est soumise, en plus de son poids, de la poussée d'Archimède due à l'air et de la force de frottement due à l'air, à une force électrique due à un champ uniforme vertical descendant $\vec{E}_0$, de module E_0 .

- a) Comment peut-on réaliser concrètement un champ électrique uniforme dans un domaine limité de l'espace ? Si l'on a réalisé ceci dans un domaine délimité par deux sections droites horizontales d'aire s et d'altitudes $z_a = h > 0$ et $z_b = 0$ respectivement, de potentiels V_a et V_b respectivement, donner l'expression du potentiel V en un point M situé à l'intérieur du domaine où règne le champ électrique, en fonction de l'altitude z de ce point, de V_a , V_b et h .

- b) Quelle énergie a-t-il fallu fournir pour créer le champ électrique $\vec{E}_0$ dans le domaine précédent ? On donnera le résultat en fonction de V_a , V_b , s , h et la permittivité diélectrique du vide ϵ_0 . On admettra que l'air

est pratiquement assimilable au vide, du point de vue électrique, et que sa permittivité diélectrique est donc pratiquement égale à celle, ϵ_0 , du vide.

- c) Indiquer qualitativement l'influence de la force électrique sur le mouvement de la goutte, sachant que, dans le cas général, celle-ci est chargée négativement.
 - d) On suppose que la goutte d'eau pénètre dans le domaine où existe le champ électrique $\vec{E}_0$ en ayant, par exemple, la vitesse limite $v_1 = 1 \text{ m.s}^{-1}$ (cf question 1)2)e). Déterminer alors la nouvelle vitesse limite v_2 atteinte par la goutte, en supposant que les dimensions du domaine dans lequel existe le champ électrique $\vec{E}_0$ sont assez grandes pour que cette vitesse limite soit effectivement atteinte.
 - e) Montrer que, si l'on est capable de mesurer le rayon R de la goutte (par la méthode utilisée plus haut avant que la goutte pénètre dans le champ électrique ou bien par une méthode optique par exemple), alors la mesure de la nouvelle vitesse limite v_2 permet de déterminer la charge q de la goutte.
- 4) Que devient qualitativement l'énergie cinétique de la goutte de pluie lorsque celle-ci arrive finalement sur le sol ?

II) MESURES RADIOMETRIQUES :

L'étude des nuages peut se faire à l'aide de mesures réalisées par des appareils embarqués dans des satellites en orbite autour de la Terre. On va, pour simplifier, s'intéresser à un problème unidimensionnel plan, ce qui est légitime, en première approximation, si on se limite à un petit domaine à la surface et au voisinage de la terre.

Un satellite contient des radiomètres pouvant mesurer le flux énergétique provenant d'une part du soleil et d'autre part de la région située en-dessous du satellite. On suppose ce satellite géostationnaire, c'est-à-dire immobile par rapport à un point fixe de la Terre.

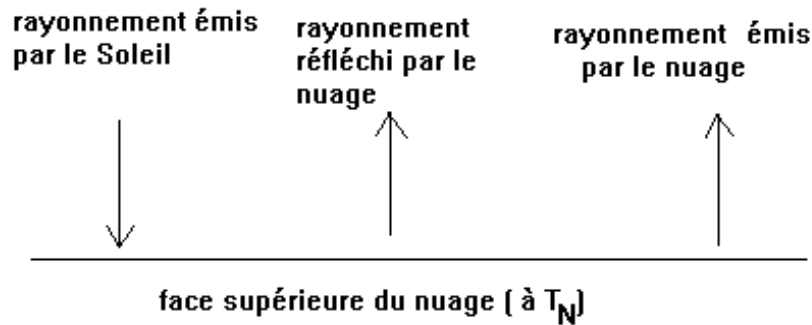
On va modéliser les échanges énergétiques par rayonnement de la façon très simple suivante :

- a) le rayonnement provenant du soleil est partiellement réfléchi par la surface supérieure du nuage, la fraction de rayonnement réfléchi étant la réflectance r ;
- b) le nuage émet un rayonnement verticalement, vers le haut : on considérera que ce rayonnement est émis uniquement par la face supérieure du nuage, considérée comme en équilibre radiatif et thermodynamique, de température T_N . Pour les applications numériques, on supposera : $T_N = 230 \text{ K}$

On négligera tout autre rayonnement, en particulier le rayonnement émis par la terre.

On rappelle la loi du déplacement de Wien, donnant la longueur d'onde λ_m correspondant au maximum d'émission pour le rayonnement d'un corps de température T :

$$\lambda_m.T \approx 3000 \mu m.K$$



- 1) Quel est l'ordre de grandeur λ_{ms} de la longueur d'onde correspondant au maximum de rayonnement émis par le soleil ? Ce résultat ne doit faire appel qu'à des connaissances usuelles d'optique.

Tournez la page SVP

- 2) En déduire l'ordre de grandeur de la température T_s de la surface du soleil. On justifiera le résultat.
- 3) Sachant que la puissance totale P_s émise de façon isotrope dans toutes les directions par le soleil, qu'on considérera, pour le raisonnement, comme ponctuel, est $P_s = 4,0 \cdot 10^{26} \text{ W}$, déterminer la puissance totale P_T reçue par la terre de la part du soleil en fonction de P_s , de la distance d entre la terre et le soleil et du rayon R_T de la terre. On donne : $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ et : $d = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$.
- 4) On mesure expérimentalement la puissance moyenne surfacique p reçue par la terre, au niveau du sommet de l'atmosphère, de la part du soleil et on trouve : $p = 1,4 \cdot 10^3 \text{ W.m}^{-2}$. Ce résultat est-il cohérent, en ordre de grandeur, avec la valeur de P_T obtenue à la question précédente ? On rappelle que le rayon de la terre est : $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ et on négligera l'épaisseur de l'atmosphère.
- 5)
- a) Quel est l'ordre de grandeur λ_{mN} de la longueur d'onde correspondant au maximum de rayonnement émis par la surface supérieure du nuage ? On rappelle que la température de la face supérieure du nuage est : $T_N = 230 \text{ K}$.
- b) Dans quel domaine des ondes électromagnétiques se situe ce rayonnement ?
- c) On appelle albedo A du nuage la fraction du rayonnement reçu par le nuage qui est réfléchi par celui-ci. Si on étudie l'albedo de différents corps pour le rayonnement solaire, on obtient typiquement :

albedo A_N d'un nuage épais $\approx 0,8$

albedo A_O de l'océan (par ciel clair) $\approx 0,1$

- Interpréter qualitativement l'écart entre ces deux résultats. Lequel de ces deux corps se rapproche-t-il le plus d'un corps noir ? On justifiera la réponse en rappelant la définition d'un corps noir.
- L'albedo dépend-il de la longueur d'onde du rayonnement considéré ? On demande une réponse justifiée qualitativement.

- 6) Si l'on analyse en fonction de la longueur d'onde λ le rayonnement capté par le radiomètre embarqué à bord du satellite, à quelles grandeurs relatives au nuage pourra-t-on avoir accès ?
- 7) Quels facteurs importants le modèle précédent oublie-t-il de prendre en compte ?

FIN DU PROBLEME