

CONCOURS INTERNE POUR LE RECRUTEMENT
D'ÉLÈVES INGÉNIEURS DES TRAVAUX DE LA MÉTÉOROLOGIE

SESSION 2021

ÉPREUVE ÉCRITE OBLIGATOIRE
PHYSIQUE

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

La rigueur du raisonnement et la clarté de la présentation seront prises en compte dans la notation. Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

*Dans l'énoncé, **exprimer** signifie donner l'expression littérale, **calculer** signifie donner la valeur numérique.*

*Les **vecteurs** sont notés en **caractères gras**. Ainsi, **$E(M)$** désigne le vecteur champ électrique au point M .*

*La calculatrice scientifique est **autorisée**.*

***Barème indicatif** : exercice 1 : 30 % ; exercice 2 : 20 % ; exercice 3 : 30 % ; exercice 4 : 20 %*

Cette épreuve comporte 10 pages numérotées de 1 à 10 (page de garde incluse).

Premier exercice : Au petit matin d'automne, dissipation d'un brouillard

Dans cet exercice on étudie en premier lieu la chute d'une gouttelette d'eau d'un brouillard, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, puis la dissipation de ce brouillard sous l'action des rayons matinaux du soleil.

La gouttelette d'eau est supposée sphérique, de masse m et de diamètre D , tombe dans l'air en étant soumise à trois forces : son poids \mathbf{P} , la poussée d'Archimède $\mathbf{\Pi}$ et la force de frottement visqueux $\mathbf{F}_f = -\alpha \mathbf{v}$, où \mathbf{v} désigne la vitesse, et $\alpha = 3\pi\eta D$ avec η viscosité dynamique.

On donne pour l'eau, à la pression standard P^0 à la température $T_0 = 0^\circ\text{C}$ de ce matin d'hiver :

pression de vapeur saturante : $P_{\text{sat}}(T_0) = 6 \text{ hPa}$ et $P_{\text{sat}}(T_1 = 5^\circ\text{C}) = 9 \text{ hPa}$

chaleur latente de vaporisation : $L_{\text{vap}}(T_0) = 2501 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

chaleur latente de fusion : $L_{\text{fus}}(T_0) = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

capacité thermique de l'eau liquide : $c_{\text{liq}}(T_0) = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

capacité thermique de l'air : $c_{\text{air}}(T_0) = 1,01 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

masse volumique de l'eau liquide : $\rho_e = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

viscosité de l'air : $\eta = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ USI}$ (unités du système international)

masse molaire de l'eau : $M_{\text{eau}} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

masse molaire de l'air : $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

conversion : $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$

- Effectuer une analyse dimensionnelle pour obtenir les unités dans le système international des deux coefficients α et η .
- Sur un schéma, représenter les forces auxquelles est soumise la gouttelette d'eau.
- Donner l'expression de chacune des forces.
Justifier le fait qu'on puisse négliger la poussée d'Archimède. On négligera cette force par la suite.
- Montrer que la vitesse est solution d'une équation différentielle de la forme $\frac{d\mathbf{v}}{dt} + \frac{\mathbf{v}}{\tau} = \mathbf{g}$
Préciser l'expression de la constante τ et donner son unité.
- Initialement, la vitesse est nulle : $\mathbf{v}(t=0) = \mathbf{0}$
Résoudre pour obtenir l'expression de la vitesse $\mathbf{v}(t)$

6.

Initialement, la position de la gouttelette est $\mathbf{r}(t=0)=\mathbf{r}_0$

Déterminer l'expression de la position $\mathbf{r}(t)$

7.

Donner l'expression de la vitesse limite \mathbf{v}_l de la gouttelette lorsque $t \gg \tau$

Simplifier également l'expression de $\mathbf{r}(t)$ dans ces conditions.

8.

Pour un brouillard dont les gouttelettes ont un diamètre de $D=10\mu m$, calculer la vitesse limite de chute. En déduire le temps de dissipation d'un brouillard d'épaisseur $h=10m$, sous l'unique action de la gravité. Commenter.

Dans la suite de l'énoncé, on néglige la dissipation du brouillard par cette action de la gravité

9.

Que peut-on dire de la pression de vapeur d'eau dans l'air, en présence de brouillard ?

On suppose que la quantité d'eau liquide présente sous forme de gouttelettes dans le brouillard représente une masse de 0,05 g par mètre cube. Durant les premières heures de la journée, le Soleil éclaire avec des rayons très inclinés qui communiquent ainsi pour chaque mètre carré de sol (et transmise au brouillard) une puissance $P_{sol}=100W.m^{-2}$. Celle-ci contribue à échauffer le brouillard (gouttelettes et air) et également à évaporer une partie de l'eau des gouttelettes.

10.

Combien de gouttelettes de brouillard cela représente-t-il par centimètre cube ?

11.

Rappeler la loi des gaz parfaits, en particulier sa forme intensive qui relie pression, masse volumique. Quelle serait la pression de vapeur d'eau si toute l'eau liquide s'évaporait ?

Compte tenu des pressions de vapeur saturante aux différentes températures données par l'énoncé, cette évaporation totale requiert-elle un échauffement de température important ?

12.

Quelle énergie faudrait-il apporter pour permettre l'évaporation des gouttelettes de brouillard ? (on fera le calcul pour un volume d'un mètre cube de brouillard).

En déduire la durée requise pour évaporer un brouillard d'épaisseur $h=10m$

Commenter ce résultat.