

# Concours blanc physique TSI2 : Insectes au bord de l'eau

Durée 4h, calculatrice autorisée

Environ 1 point sur 20 porte sur la rédaction :

- Ecriture lisible.
- Enoncer les lois physiques utilisées.
- Lors des questions qualitatives, faire des phrases complètes, commençant par une majuscule, et comportant un sujet, un verbe, ...
- Encadrer les résultats principaux.

## 1 Mesure du diamètre d'un fil de toile d'araignée

### 1.1 Diffraction

Un rayon laser de longueur d'onde  $\lambda = 650 \text{ nm}$  éclaire un fil de la toile d'araignée. La tâche centrale de diffraction observée sur un écran situé à une distance de 5 m de la lame a une largeur 10 cm. Déterminer la valeur du diamètre du fil.

Chaque étape peut-être valorisée :

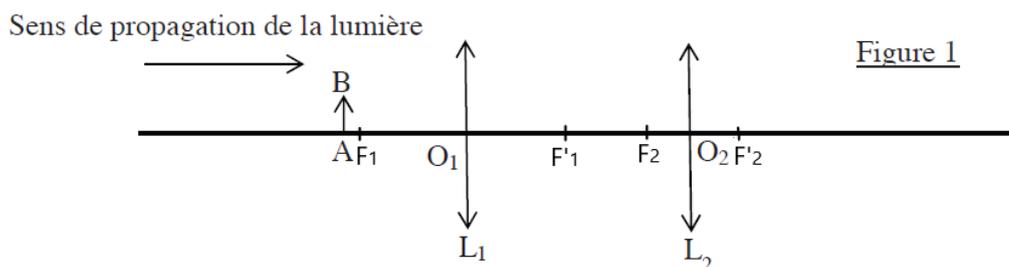
- schéma
- introduire les notations utiles
- mener les calculs littéraux
- application numérique, unité
- l'ordre de grandeur de la valeur obtenue semble-t-il correct? Pour comparaison, le diamètre d'un cheveu est de l'ordre de 0,1 mm.

### 1.2 Mesure au microscope

On peut aussi mesurer directement la taille des fils par une observation au microscope. Le but est de définir et de calculer le grossissement d'un microscope.

Le microscope est modélisé sur la figure 1, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille  $L_1$  de centre  $O_1$  et de distance focale image  $f'_1 = 5 \text{ mm}$ ), et l'autre constituant l'oculaire (lentille  $L_2$  de centre  $O_2$  et de distance focale image  $f'_2 = 15 \text{ mm}$ ).

On fixe  $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120 \text{ mm}$ . On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.



On rappelle la relation de conjugaison d'une lentille et l'expression du grandissement  $\gamma$  :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

1 Les relations précédentes sont valables à condition que les rayons lumineux satisfassent les conditions de Gauss. Donner ces conditions.

2 Si  $F'_1$  est le foyer image de  $L_1$  et  $F_2$  le foyer objet de  $L_2$ , on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique  $\Delta = \overline{F'_1 F_2}$ . Exprimer  $\Delta$  en fonction de  $f'_1$ ,  $f'_2$ ,  $D_0$ , puis calculer sa valeur.

3 Un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance  $d$  de  $L_1$ , à sa gauche, de façon à ce que l'image A'B' donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

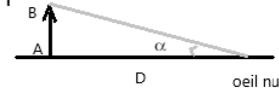
3.1 Exprimer  $d$  en fonction de  $f'_1$  et  $\Delta$ , puis calculer sa valeur. Indications : relation de conjugaison à  $L_1$   
 $A' = F_2$

3.2 Exprimer le grandissement  $\gamma_1$  induit par l'objectif en fonction de  $f'_1$  et  $\Delta$ , puis calculer sa valeur.

3.3 Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?

3.4 Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle  $\alpha'$  sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

4 Le grossissement commercial du microscope est défini par  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  où  $\alpha$  est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance  $D = 250$  mm.

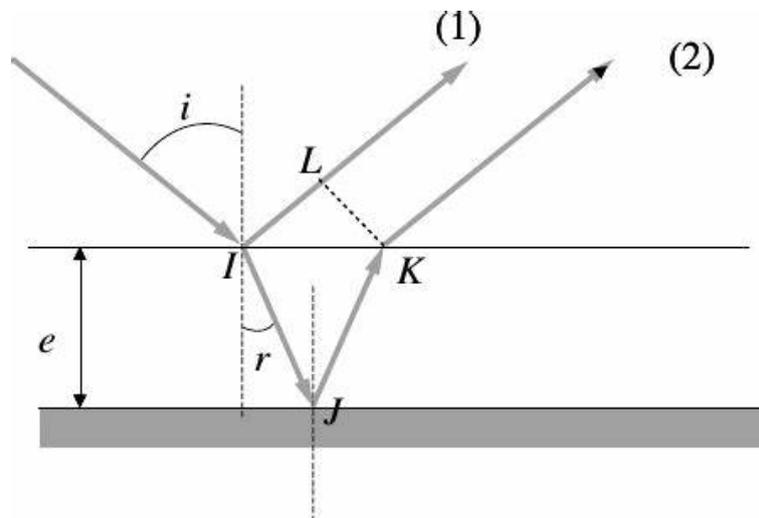


L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles.

Exprimer  $G$  en fonction de  $\Delta$ ,  $D$ ,  $f'_1$  et  $f'_2$ , puis calculer sa valeur.

## 2 Interférences sur les ailes de papillon

Certains papillons ont des couleurs surprenantes, qui changent en fonction de l'angle d'observation. Ces irrisations s'expliquent par des interférences aux niveaux de couches successives de matériaux de différents indices. Pour simplifier l'étude, on considère une unique couche de milieu transparent d'indice  $n$  et d'épaisseur  $e$ . Le rayon incident est monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  et se propage dans l'air.



1. Le rayon incident se subdivise en deux rayons (1) et (2) : décrire leur parcours. Reproduire le schéma pour justifier les questions suivantes.
2. Donner la relation entre  $i$  et  $r$ .
3. Enoncer le théorème de Malus et représenter quelques surfaces d'onde en sortie.
4. Exprimer la différence de marche  $\delta$  entre les rayons 1 et 2 en terme de chemins optiques, en faisant intervenir les points I,J,K,L.

On admet que des calculs de géométrie permettent d'obtenir l'expression

$$\delta = 2ne \cos r$$

Par ailleurs, un déphasage de  $\pi$  se produit lors de la réflexion en  $J$ .

5. Montrer que

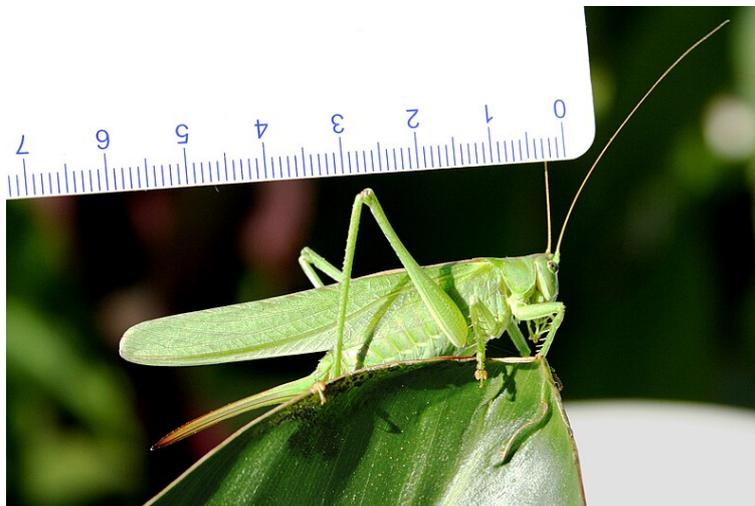
$$\delta = 2e\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$$

6. En déduire l'expression du déphasage  $\Delta\Phi$ , et de l'ordre d'interférences  $p = \frac{\Delta\Phi}{2\pi}$ .
7. Enoncer la condition d'interférences constructives.
8. Pour un angle d'observation  $i = 30^\circ$ , un indice  $n = 1.5$  et une épaisseur  $e = 1 \mu\text{m}$ , calculez les longueurs d'onde pour lesquelles il y a des interférences constructives pour les 5 premiers ordres. Lesquelles appartiennent au domaine visible? A quelles couleurs correspondent-elles?

### 3 Quelle est la force maximale de poussée d'une sauterelle ?

La hauteur d'un saut de sauterelle peut atteindre 10 fois sa longueur. Les sauterelles utilisent leurs pattes arrière un peu comme une catapulte. Les muscles fléchisseurs à l'intérieur de ses pattes arrière agissent comme un élastique. Lorsque la sauterelle plie ses pattes arrière, la tension s'accumule dans ce muscle et attend la libération. L'énergie accumulée dans cette articulation semblable à un genou catapulte la sauterelle haut dans les airs. Une fois dans l'air, la sauterelle peut choisir de voler à des hauteurs encore plus élevées.

Ci-dessous une photographie de la grande sauterelle verte *Tettigonia viridissima*, dont la masse peut être estimée à  $m = 10$  grammes. L'accélération de pesanteur est  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

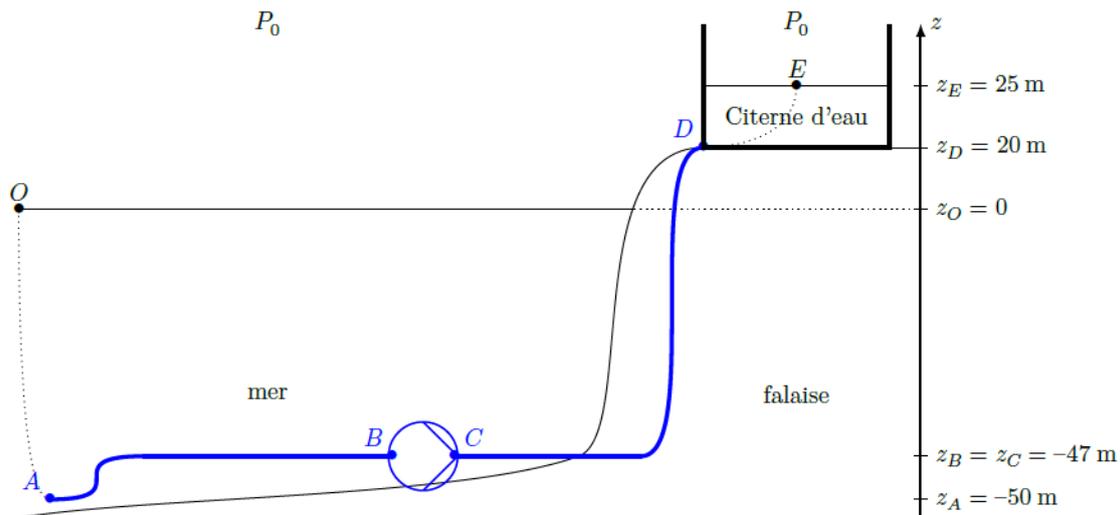


Le saut peut être décomposé en deux phases : poussée jusqu'à ce que ses pattes soient tendues, puis phase de chute libre montante jusqu'au sommet.

1. A partir du document, déterminer la valeur de la hauteur maximale  $h$  du saut.
2. Exprimer le travail du poids pendant toute cette phase de montée.
3. Par application du théorème de l'énergie cinétique, entre l'instant de départ (au sol, pattes pliées, vitesse nulle), et l'instant d'arrivée (sommet de la trajectoire), déterminer le travail de la force de poussée  $\vec{F}$  des pattes sur le sol en fonction de  $m$ ,  $g$  et  $h$ . Faire l'application numérique.
4. Sur la photographie, on voit que la longueur des pattes  $l$  est environ égale à la longueur de la sauterelle. En supposant la force de poussée constante, exprimer le travail de la force de poussée en fonction de  $F$  et  $l$ . En déduire la valeur de  $F$ .
5. Par application de la deuxième loi de Newton pendant la première partie du mouvement, calculer l'altitude  $z(t)$  de la sauterelle en fonction de  $F$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $t$ .
6. En déduire la durée de cette phase d'extension des pattes.

## 4 Aquarium

Pour s'approvisionner en eau peu polluée, un musée puise cette ressource dans la mer à une profondeur de 50 m pour l'acheminer jusqu'à une citerne. On choisit pour le repérage des altitudes un axe vertical ascendant ( $Oz$ ) ayant pour origine  $O$  le niveau de la mer. L'accélération de pesanteur est  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ . La masse volumique de l'eau de mer sera notée  $\rho$ , et sa valeur prise égale à celle de l'eau douce.



Une pompe immergée fonctionne en permanence avec un débit volumique  $Q_v = 40 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ . Celle-ci est comprise entre les points B et C située à l'altitude  $z_B = z_C = -47 \text{ m}$ . Le lieu de captage de l'eau se trouve au point A d'altitude  $z_A = -50 \text{ m}$ .

On appelle *circuit d'aspiration* le tuyau reliant le point A situé au lieu du captage au point B situé à l'entrée de la pompe. Celui-ci a une longueur  $L_a = 200 \text{ m}$  et un diamètre  $D_a = 0,20 \text{ m}$ . De par sa configuration, le tuyau d'aspiration comporte deux coudes à  $90^\circ$  et d'autres irrégularités non représentées sur le schéma. On estime les pertes de charge totales (régulières + singulières) à

$$\Delta P_{c, \text{aspiration}} = 2,2 \text{ kPa}$$

On appelle *circuit de refoulement* le tuyau reliant le point C, sortie de la pompe au point D, entrée de la citerne. Ce tuyau a une longueur  $L_r = 100 \text{ m}$  et un diamètre  $D_r = 0,20 \text{ m}$ . Il possède deux coudes à  $90^\circ$  et d'autres irrégularités non représentées sur le schéma. On estime les pertes de charge totales (régulières + singulières) à

$$\Delta P_{c, \text{refoulement}} = 1,2 \text{ kPa}$$

Le remplissage de la citerne se fait au point D d'altitude  $z_D = 20$  m. La surface libre de l'eau de la citerne est à l'altitude  $z_E = 25$  m. On considère que pression de l'air atmosphérique est uniforme et vaut  $P_0 = 1,010^5$  Pa.

1. Calculer la section  $S$  des tuyaux en  $\text{m}^2$ .
2. Convertir le débit volumique en  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ .
3. Calculer la vitesse moyenne de l'eau dans les tuyaux, notée  $v$ .
4. Définir les notions de pertes de charge régulière et singulière. Proposer une expérience mettant en évidence une perte de charge.
5. Montrer qu'un Pascal correspond à un joule par  $\text{m}^3$ .
6. Calculer la perte de charge totale de l'installation en Pascal, en Joules par kg, puis en Watt.
7. Quelles sont les hypothèses de validité de la relation de Bernoulli généralisée ?
8. Par application de cette relation entre les points O et E, calculer le travail massique  $w_i$  fourni par la pompe au fluide.
9. Calculer la puissance  $\mathcal{P}_i$  fournie par la pompe au fluide. Comparer à la puissance dissipée par les pertes de charge.

Pour la dernière question, les pertes de charge seront négligées.

10. Il pourrait sembler plus simple de placer la pompe en surface, au niveau du point D, plutôt que de la positionner en profondeur.
  - Schématiser la nouvelle installation.
  - Par application de la relation de Bernoulli entre 2 points à indiquer, calculer la pression en entrée de la pompe. Quel est le problème rencontré ?