

Concours Agro-Véto

Concours Agro-Véto

L'oral de physique ou chimie du concours Agro-Véto est une épreuve d'argumentation et échange. Plus encore que dans les oraux des autres concours, on attend du candidat une capacité à prendre l'initiative et à mener l'oral.

L'épreuve consiste en quinze minutes de préparation et trente minutes de présentation devant le jury. Lisez bien entièrement le sujet pour ne pas oublier d'en traiter une partie.

Les sujets sont très ouverts, vous devez donc profiter de la préparation pour imaginer un plan de résolution. Quinze minutes ne suffiront pas à résoudre entièrement les questions posées au brouillon, il sera donc nécessaire de poursuivre cette résolution directement devant le jury. Ce que vous devrez impérativement faire pendant la préparation est l'analyse poussée des documents mis à votre disposition, comme le relevé d'informations sur des documents avec une échelle donnée.

On attend de vous une prise de recul sur le sujet, une capacité à le traiter en une suite de questions simples. Bien poser une problématique lors de l'introduction de votre présentation pourra vous aider à adopter un discours clair tout au long de votre oral.

Chimie

Lors de la préparation de cet oral, vous ne disposerez pas de calculatrice, mais elle pourra être utilisée lors de la présentation, notamment pour effectuer des régressions linéaires à partir de séries de données. Il est donc très important de vous familiariser avec cette fonction de votre calculatrice avant le jour de l'oral.

En chimie organique, il n'est pas utile de présenter spontanément plus d'un mécanisme bien maîtrisé : une fois que le jury a vu que vous étiez capable d'écrire un mécanisme, en faire davantage ne ferait que vous faire perdre du temps.

Physique

Pendant la préparation, seule une calculatrice simple est disponible. Vous devez vous en servir pour effectuer des applications numériques ou des relevés sur schémas avec échelle donnée sur des documents, car ces étapes prennent du temps et n'apportent rien à la présentation si elles sont faites devant le jury.

Vous trouverez les rapports de jury à l'adresse suivante :

<https://www.concours-agro-veto.net/spip.php?rubrique261>

Énoncé

Agro-Véto

Lévitiation d'une balle de ping-pong

On souhaite faire léviter une balle de ping-pong grâce au jet d'air produit par un sèche-cheveux.



- Caractériser le type d'écoulement mis en jeu puis tracer les lignes de courant autour de balle.
- Montrer que la lévitation de la balle est possible.

Extrait de la fiche technique du sèche-cheveux :

- Débit volumique : $80,0 \text{ m}^3/h$
- Diamètre de sortie : $5,00 \text{ cm}$

Analyse

Cet énoncé relève de la mécanique des fluides, on s'intéresse à l'écoulement de l'air autour de la balle. Il est classique mais demande de connaître ou d'estimer des ordres de grandeur des paramètres mis en jeu. Si les valeurs ne sont pas exactement les bonnes, le jury vous les indiquera mais appréciera toute prise d'initiative.

La première question demande de donner la forme des lignes de courant de l'écoulement après avoir déterminé son type, ce qui requiert le calcul du nombre de Reynolds associé à cet écoulement.

La deuxième question demande de comparer les deux forces appliquées à la balle : son poids et la force de traînée. L'expression de cette dernière n'est pas donnée dans l'énoncé, mais en expliquant que c'est la donnée manquante, le jury pourra entamer une discussion pour la déterminer.

Discussion

Pour caractériser le type d'écoulement autour de la balle, on calcule le nombre de Reynolds associé avec l'expression :

$$\mathcal{R}_e = \frac{\rho_{air} L v}{\eta_{air}}$$

Où L et v sont respectivement une longueur caractéristique du système et une vitesse caractéristique de l'écoulement. On a donc besoin des ordres de grandeur de la masse volumique ρ_{air} et de la viscosité dynamique de l'air η_{air} , de la vitesse de l'écoulement v et de la taille caractéristique L de la balle.

Jury : Quelle information le nombre de Reynolds donne-t-il sur l'écoulement ?

À faible nombre de Reynolds (inférieur à 1), l'écoulement est laminaire, à grand nombre de Reynolds il est turbulent, avec apparition d'une zone de turbulence dissipant de l'énergie.

Jury : Que proposez-vous comme valeurs numériques pour les grandeurs intervenant dans l'expression du nombre de Reynolds ?

On peut prendre $L = 5 \text{ cm}$, $\rho_{air} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Jury : On prendra par la suite $L = 4,0 \text{ cm}$, donnée fournie par le fabricant. Pour la masse volumique, comment peut-on proposer de déterminer la masse volumique de l'air ?

On peut supposer que l'air est un gaz parfait et utiliser l'équation d'état associée :

$$PV = nRT$$

$$\Leftrightarrow P = \frac{\rho_{air} RT}{M_{air}}$$

Jury : Que considère-t-on comme la masse molaire de l'air ?

On peut faire une moyenne pondérée des constituants en considérant que l'air est un mélange à 20% de dioxygène et 80% de diazote, on a donc :

$$M_{air} = 0,2 M(O_2) + 0,8 M(N_2)$$

$$M_{air} = 0,2 * 32,0 + 0,8 * 28,0$$

$$M_{air} = 29,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

On peut donc déterminer :

$$\boxed{\rho_{air} = \frac{M_{air} P}{RT}}$$

Ce qui donne à 25 °C sous 1 bar :

$$\rho_{air} = \frac{29,0 \cdot 10^{-3} * 1,0 \cdot 10^5}{8,314 * 298} = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$$

Jury : Comment déterminer une valeur de la vitesse de l'écoulement ?

La fiche descriptive du sèche-cheveux indique le débit-volumique D_v et le diamètre de sortie d , qu'on peut relier à la section de sortie S . On peut alors en déduire une valeur de vitesse de l'air en sortie :

$$D_v = S v_0 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 v_0$$

$$\Leftrightarrow \boxed{v_0 = \frac{4 D_v}{\pi d^2}}$$

$$v_0 = \frac{4 * \frac{80,0}{3600}}{\pi * (5,00 \cdot 10^{-2})^2} = 11,3 \text{ m.s}^{-1}$$

Jury : Avez-vous une valeur de viscosité dynamique à proposer ?

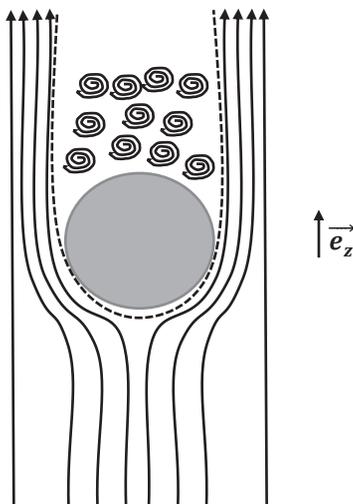
On peut prendre $\eta_{air} = 10^{-5} \text{ Pl}$

Jury : On prendra pour la suite $\eta_{air} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Pl}$.

On peut maintenant mener le calcul à terme :

$$\boxed{Re = \frac{1,2 * 4,0 \cdot 10^{-2} * 11,3}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 3,0 \cdot 10^4}$$

Le nombre de Reynolds obtenu est très grand devant 1, l'écoulement est donc turbulent autour de la sphère.



Jury : Quelles sont les forces qui s'exercent sur la balle de ping-pong ?

Son poids, dirigé selon $-\vec{e}_z$ et la force de traînée exercée par l'air, dirigée selon $+\vec{e}_z$.

Jury : Dans un écoulement turbulent de ce type, la force de traînée peut s'exprimer en fonction de la masse volumique du fluide (ici l'air) ρ_{air} , de la surface de contact de l'obstacle avec le fluide $S_{contact}$, de leur vitesse relative v_r et d'une constante sans unité k positive. Peut-on donner une expression de la force avec ces informations ?

On peut procéder par analyse dimensionnelle :

$$[F_t] = M \cdot L \cdot T^{-2}$$

$$[\rho_{air}] = M \cdot L^{-3}$$

$$[S_{contact}] = L^2$$

$$[v_r] = L \cdot T^{-1}$$

On peut écrire :

$$[F_t] = [\rho_{air}]^\alpha \cdot [S_{contact}]^\beta \cdot [v_r]^\gamma$$

$$[F_t] = M^\alpha \cdot L^{-3\alpha+2\beta+\gamma} \cdot T^{-\gamma} = M \cdot L \cdot T^{-2}$$

Ce qui nous donne le système :

$$\begin{cases} \alpha = 1 \\ -3\alpha + 2\beta + \gamma = 1 \\ -\gamma = -2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \alpha = 1 \\ \beta = 1 \\ \gamma = 2 \end{cases}$$

On peut donc donner l'expression :

$$\vec{F}_t = k\rho_{air}S_{contact}v_r^2 \cdot \vec{e}_z$$

Jury : On prendra par la suite $k = 0,20$. Comment arriver à une explication de la lévitation de la balle à partir de cette expression ?

Il faut écrire le principe fondamental de la dynamique :

$$m\vec{a} = \vec{F}_t + \vec{P}$$

La balle en lévitation est immobile donc $\vec{a} = \vec{0}$,

$$\vec{F}_t = -\vec{P}$$

La force de traînée compense donc le poids.

Jury : Quelle vitesse de fluide serait nécessaire pour cela ?

On va développer les expressions des forces pour déterminer la vitesse du fluide.

$$k\rho_{air}S_{contact}v_r^2\vec{e}_z = -(-mg\vec{e}_z)$$

$$v_r = \sqrt{\frac{mg}{k\rho_{air}S_{contact}}}$$

Jury : Que peut-on prendre pour les valeurs de m , g et $S_{contact}$?

On peut estimer la masse à 5 g, prendre $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ et prendre pour surface la projection de la balle sur l'axe du flux d'air, soit un disque de diamètre 4,0 cm.

Jury : On fera le calcul en prenant $m = 2,7 \text{ g}$.

On peut calculer :

$$v_r = \sqrt{\frac{2,7 \cdot 10^{-3} * 9,8}{0,20 * 1,2 * \pi * \left(\frac{4,0}{2}\right)^2}} = 9,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

On retrouve bien une valeur cohérente avec celle qui était donnée par le débit volumique du sèche-cheveux : la lévitation peut donc s'expliquer de cette façon.

Jury : Sur l'image, à quelle hauteur lévite la balle ?

Avec l'échelle donnée, on trouve une hauteur d'environ 31 cm.

Jury : Peut-on expliquer pourquoi l'équilibre a lieu à cette hauteur ?

En dessous de la hauteur d'équilibre, la vitesse se rapproche de celle calculée en sortie du sèche-cheveux, soit $11,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Plus on prend de l'altitude par rapport à la sortie d'air, plus le tube de courant s'élargit. Par conservation du débit volumique, la vitesse diminue, la balle est donc à l'équilibre à la hauteur à laquelle $v_r = 9,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jury : Peut-on estimer la largeur du tube de courant à cette hauteur ?

On peut écrire la conservation du débit volumique pour exprimer d_1 , la largeur du tube de courant à la hauteur de lévitation.

$$\begin{aligned} D_V &= S v_0 = S_1 v_r \\ \Leftrightarrow \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 v_0 &= \pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 v_r \\ \Leftrightarrow d_1 &= d \sqrt{\frac{v_0}{v_r}} \end{aligned}$$

L'application numérique fournit :

$$d_1 = 5,0 * \sqrt{\frac{11,3}{9,4}} = 5,5 \text{ cm}$$