Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2023, filière TPC

Physique

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Problème 1, partie I.1 : le bleu de la perruche
- Problème 1, partie I.2 : le canard colvert
- Problème 1, partie I.3 : le colibri
- Problème 1, partie II : les couleurs pigmentaires
- Problème 2, partie I : suspension passive
- Problème 2, partie II : origine de la force de l'amortisseur
- Problème 2, partie III : suspension active

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/tpc/2023/physique

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE TPC

PHYSIQUE

Durée : 4 heures

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.

RAPPEL DES CONSIGNES

- *Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.*
- *Ne pas utiliser de correcteur.*
- *Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.*

Les calculatrices sont autorisées.

Le sujet est composé de deux problèmes indépendants.

PROBLÈME 1

Des oiseaux haut en couleur

L'extraordinaire diversité des motifs colorés des oiseaux résulte de phénomènes physiques tels que l'absorption de la lumière, la diffusion, les interférences ou encore la diffraction.
Certains motifs peuvent être expliqués soit par une répartition organisée du plumage, on parle alors de couleurs structurales, soit par la présence de pigments dans le plumage, on parle alors de couleurs pigmentaires. Si le jaune du canari est par exemple pigmentaire, le bleu de la perruche est lui structural.
Certains oiseaux bénéficient des deux types de colorations comme le perroquet Ara qui présente ainsi un plumage très coloré (**photo 1**).



Photo 1 - Perroquets Ara (rouge vert bleu à gauche, bleu jaune à droite)

Pour ce **problème 1**, les intervalles de longueurs d'onde de quelques couleurs sont fournis dans le tableau ci-dessous :

Couleurs	Rouge	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Violet
λ en nm	620 - 780	590 - 620	580 - 590	500 - 580	450 - 500	380 - 450

On donne, pour une lentille conjuguant un objet A et une image A', la relation de conjugaison avec origine aux foyers F et F' :

$$\overline{FA}.\overline{F'A'} = -f'^2 .$$

Partie I - Les couleurs structurales

I.1 - Le bleu de la perruche

À l'origine, la couleur des perruches à l'état sauvage est verte, mais la captivité chez cet oiseau, souvent élevé en nombre, a permis l'émergence de nouvelles couleurs, comme le bleu (**photo 2**). C'est notamment l'appauvrissement en pigments jaunes dans son plumage qui est indirectement responsable de cette coloration si particulière et rare dans le domaine animal.

De façon schématique, une plume est constituée essentiellement d'un rachis sur lequel pousse les barbes sur lesquelles naissent des barbules (**figure 1**). Le long des barbules prennent naissance à leur tour des crochets.



Photo 2 - Perruche bleue

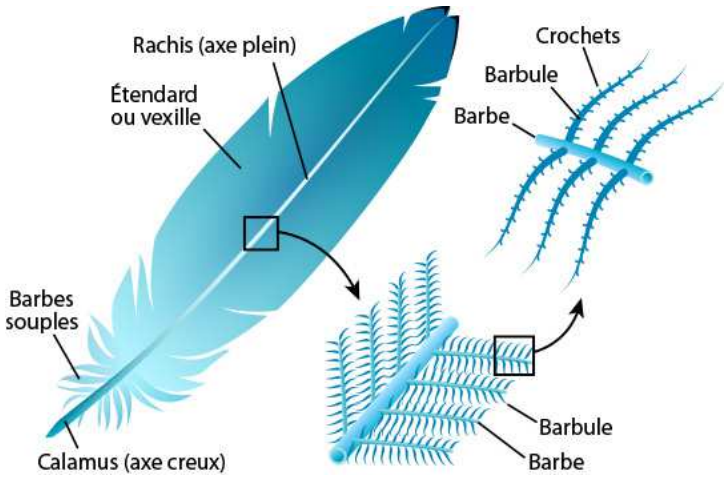


Figure 1 - Constitution d'une plume

Afin de déterminer l'origine physique de cette couleur bleue, on observe une partie AB d'une plume de perruche à l'aide d'un microscope optique.

Pour cela, on dispose :

- d'une première lentille, L_1 (centre O_1, distance focale $f_1' = 1{,}2\text{ cm}$), qui porte le nom d'objectif ;
- d'une deuxième lentille, L_2 (centre O_2, distance focale $f_2' = 2{,}0\text{ cm}$), qui porte le nom d'oculaire.

La distance qui sépare le foyer image F_1' de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire est appelée intervalle optique, noté Δ, avec ici $\Delta = 16\text{ cm}$ (**figure 2**).

L'observation se fait à l'aide d'un œil emmétrope (œil à vision normale) situé derrière l'oculaire.

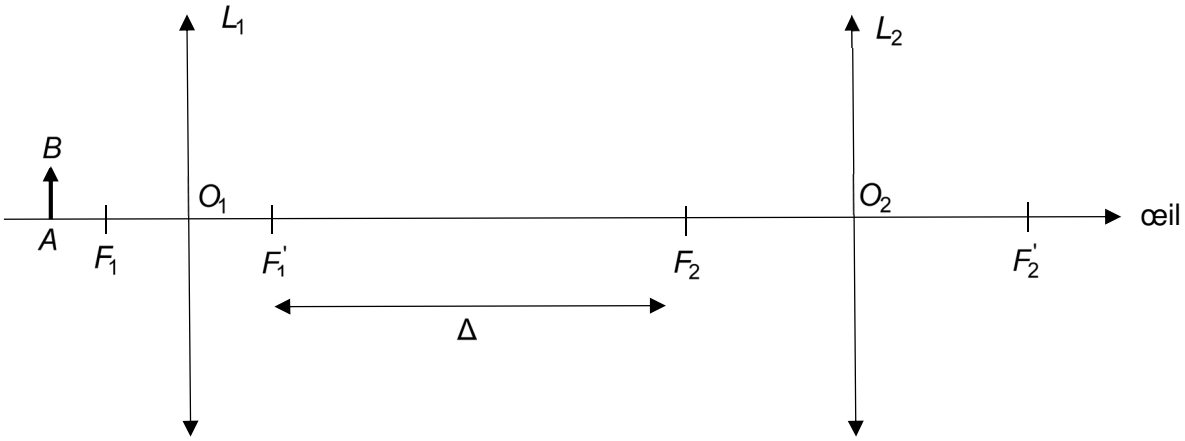


Figure 2 - Schéma du microscope

On se placera pour toute la suite dans les conditions de Gauss et dans l'approximation des petits angles. On note h la taille de l'objet AB observé.

Q1. Afin que l'observation puisse s'effectuer sans fatigue visuelle pour l'œil emmétrope, où doit être située l'image finale A_2 en sortie de L_2 ? Dans quel plan se situe donc l'image intermédiaire A_1B_1 ?

Q2. Reproduire sur la copie le schéma du microscope et tracer le chemin de deux rayons lumineux passant par l'extrémité B de l'objet, l'un parallèle à l'axe et l'autre passant par O_1. Faire apparaître sur ce schéma :
- l'image intermédiaire A_1B_1 ;
- le diamètre angulaire α' de l'image finale vue par l'œil.

Q3. Montrer que la grandeur $\gamma_1 = \dfrac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$, appelée grandissement transversal de l'objectif, s'écrit :

$$\gamma_1 = -\frac{\Delta}{f_1'}.$$

Q4. En déduire l'expression du diamètre angulaire α' de l'image vue par l'observateur au travers du microscope en fonction de f_1', f_2', h et de Δ.

En l'absence de dispositif, l'œil voit net un objet situé à une distance comprise entre d_m et d_M, avec $d_m < d_M$.

Q5. Quels noms donne-t-on aux points objets correspondant à ces distances ? Donner une valeur à d_m et d_M pour un œil emmétrope.

Q6. Déterminer le diamètre angulaire α de l'objet AB vu sans instrument et situé à une distance d_m de l'œil (**figure 3**).

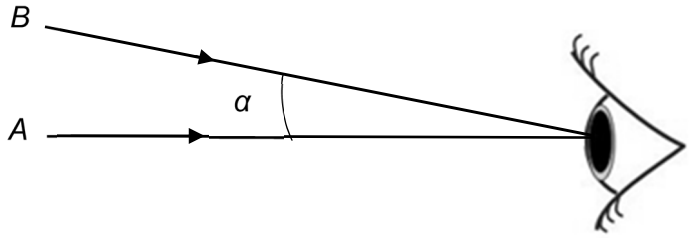


Figure 3 - Diamètre ou distance angulaire

Q7. En déduire que la grandeur $G_C = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$, appelée grossissement commercial du microscope, s'écrit :

$$G_C = \frac{d_m \Delta}{f_1' f_2'}.$$

Faire l'application numérique avec $d_m = 25\,\text{cm}$.

Q8. Un œil peut distinguer deux images ou deux objets si la distance angulaire les séparant est supérieure à la limite de résolution angulaire de l'œil $\varepsilon = 1'$ (une minute d'arc). Déterminer quelle sera la distance angulaire minimale α_m entre deux objets vus au travers de ce microscope.

L'image d'une partie d'une plume est donnée ci-après (**photo 3**) :

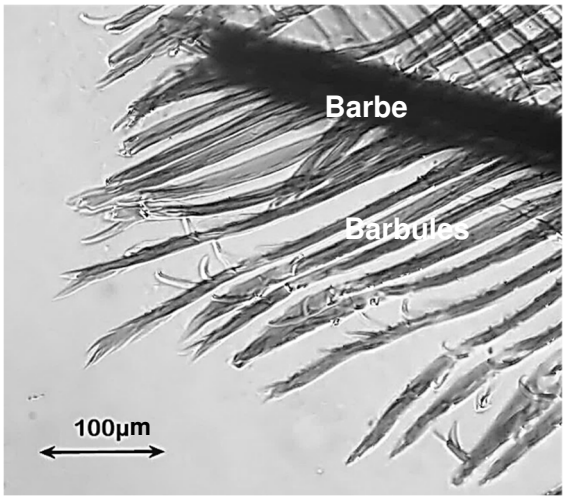


Photo 3 - Image d'une plume de perruche à l'aide d'un dispositif non précisé

Q9. Par mesure sur la **photo 3**, donner une estimation de la distance entre deux crochets situés au bout des barbules.

Q10. On rappelle que la résolution angulaire de l'œil nu est $\varepsilon = 1'$. Ces crochets peuvent-ils être distingués directement sans instruments ? Pourront-ils être distingués avec le microscope utilisé précédemment ?

En explorant davantage la plume, on découvre qu'à l'intérieur des barbes apparaissent des couches fines parallèles et empilées de petits grains appelés microgranules (**figure 4**).

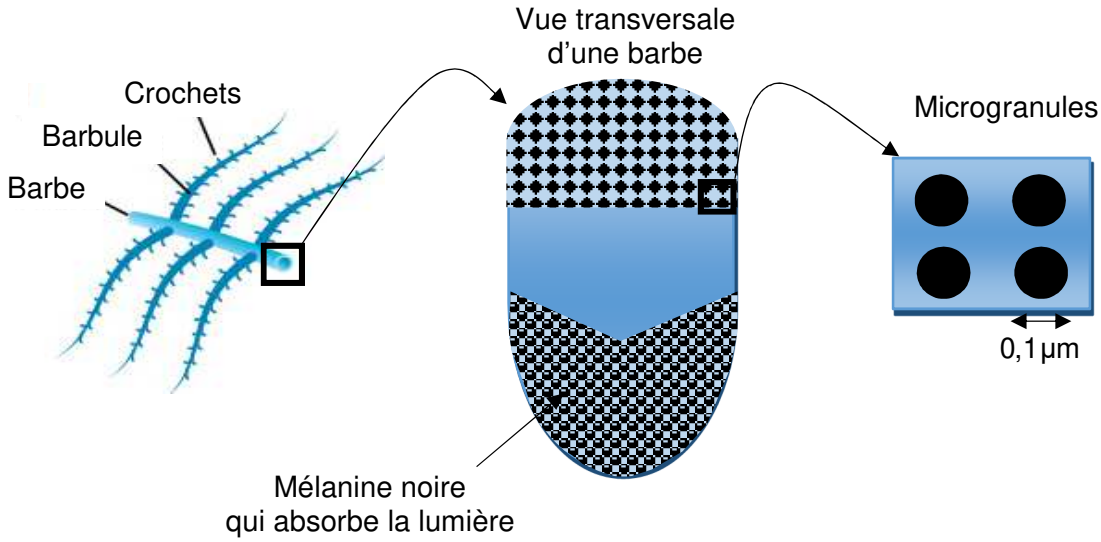


Figure 4 - Coupe transversale d'une barbe

Ces microgranules de petite taille sont responsables d'une diffusion de la lumière incidente (**figure 5**) :

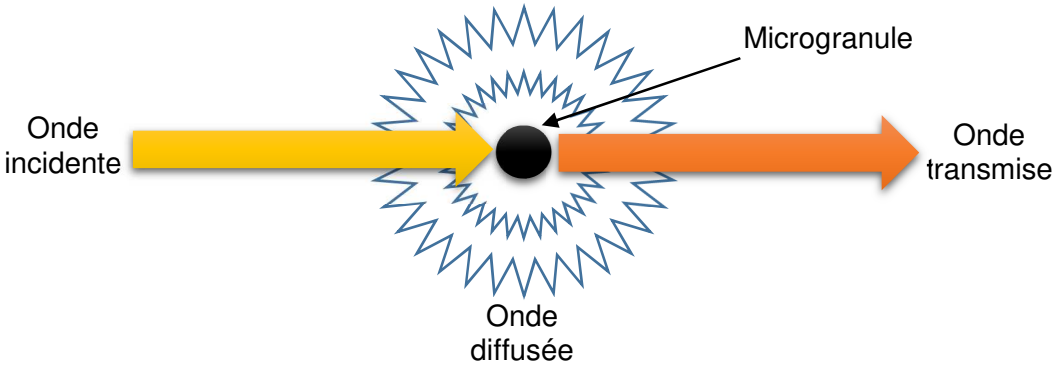


Figure 5 - Diffusion de la lumière par une microgranule

La puissance moyenne diffusée à travers une sphère, de centre une microgranule, est donnée par la formule :

$$\langle P \rangle = \alpha\omega^4$$

avec α une constante de proportionnalité et ω la pulsation du rayonnement incident.

Q11. Expliquer alors la couleur bleue prise par le plumage de la perruche lorsqu'elle est éclairée en lumière blanche. Que deviennent les radiations non diffusées ?

Q12. Par analogie avec un autre domaine de la physique, justifier que le premier étage de la barbe se comporte comme un filtre passe-bas en transmission.

I.2 - Du vert clair au violet pour le canard colvert

Dans certains cas, la couleur d'un plumage varie selon l'angle d'observation. C'est le cas du canard colvert mâle qui possède autour de son cou et de sa tête un plumage dont la teinte varie selon la direction (**photo 4**).

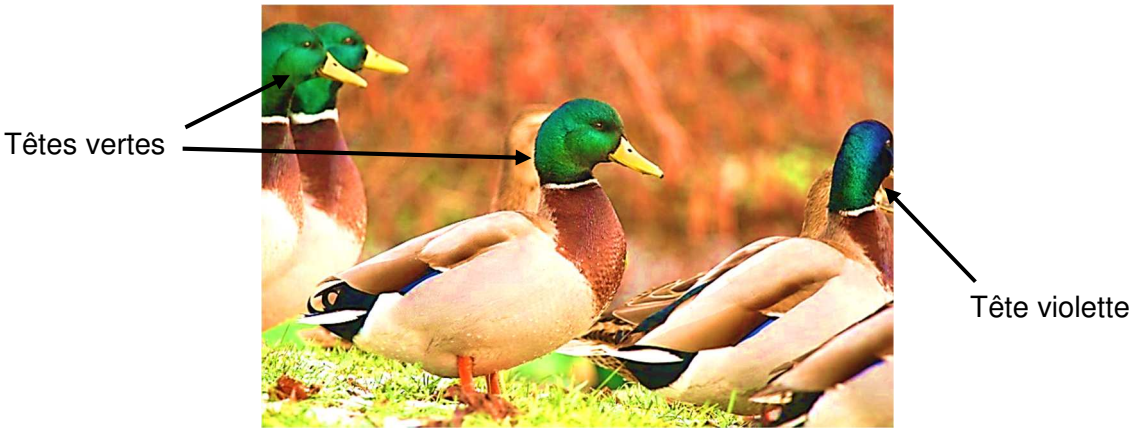


Photo 4 - Teinte variable sur les cous des canards colvert

Pour expliquer ce phénomène, il faut étudier l'intérieur des barbules, constituées notamment de petites cavités dans lesquelles on trouve de minces lamelles parallèles appelées microlamelles (**photo 5**).

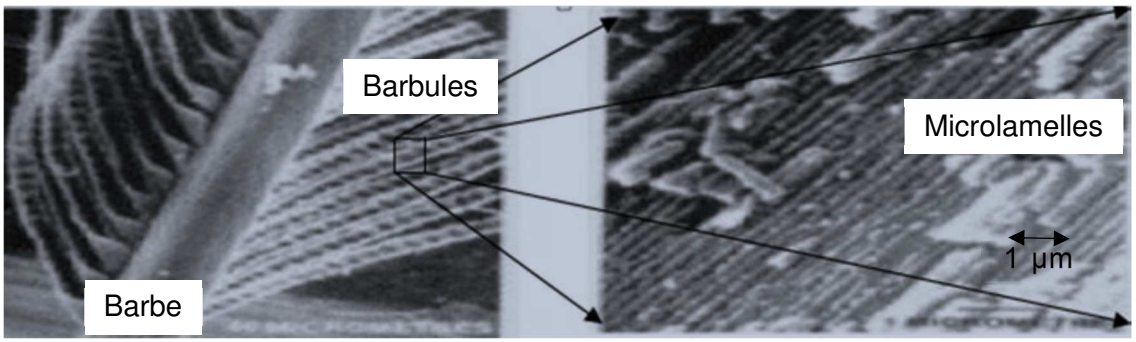


Photo 5 - Observation des microlamelles au microscope électronique

Chaque microlamelle se comporte comme un petit miroir réfléchissant la lumière. Entre deux lamelles se situe de la mélanine absorbant la lumière. Ainsi ces microlamelles s'apparentent aux traits d'un réseau plan qui peut être modélisé soit par la **figure 6a**, soit par la **figure 6b** :

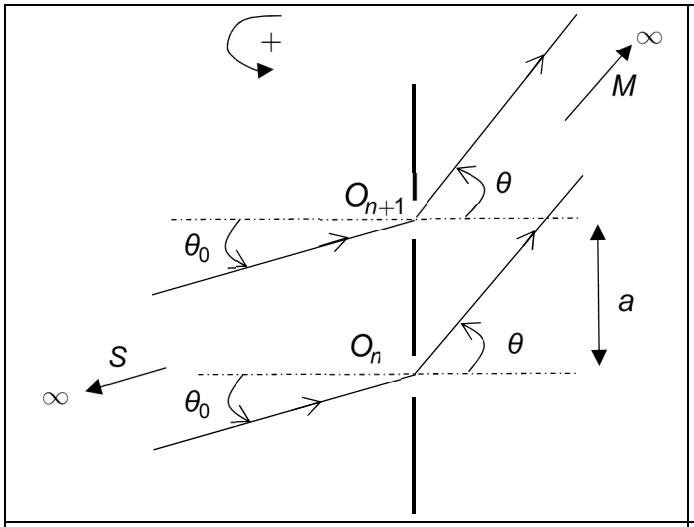


Figure 6a - Réseau plan par transmission

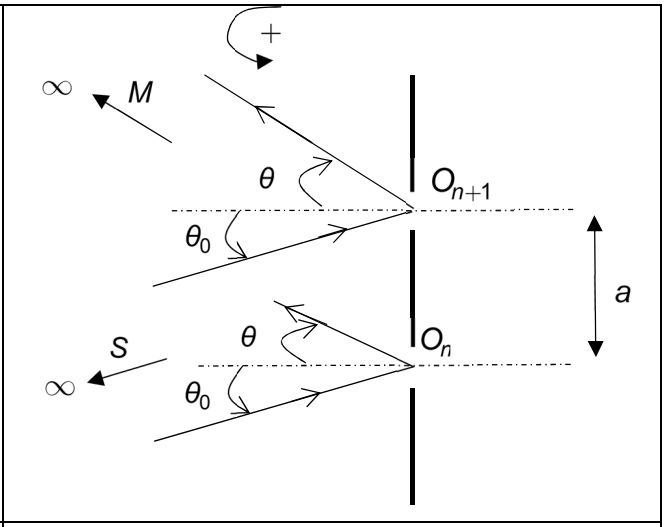


Figure 6b - Réseau plan par réflexion

La distance entre deux lamelles est notée a. On donne $a = 0{,}56\,\mu m$.

S représente une source de lumière monochromatique, de longueur d'onde λ_0, située à l'infini, envoyant un faisceau de rayons cohérents entre eux. L'observation se fait en un point M situé à l'infini.

Q13. La structure en microlamelles constitue-t-elle un réseau par réflexion ou par transmission ?

Q14. Déterminer, dans le cas du réseau plan par transmission, la différence de marche $\delta(M) = (SO_{n+1}M) - (SO_nM)$ entre deux rayons, l'un passant par O_n, l'autre par O_{n+1}.

Q15. Pour quelles valeurs de $\delta(M)$ les ondes interfèrent entre-elles de façon totalement constructive ?

Q16. Dans le cas des réseaux par réflexion, montrer par analogie que les maximums d'intensité lumineuse sont donnés pour des angles θ_k tels que :

$$\sin\theta_k + \sin\theta_0 = k\frac{\lambda_0}{a}$$

avec k un entier relatif.

Q17. Application : de quelle couleur apparaît la tête d'un canard colvert, dont les microlamelles sont éclairées en incidence normale par des rayons provenant du Soleil, d'une part pour l'observateur A et d'autre part pour l'observateur B supposés suffisamment éloignés (**figure 7**) ? On justifiera que l'on ne tient compte que des ordres $k = \pm 1$. Commenter en lien avec la **photo 4**.

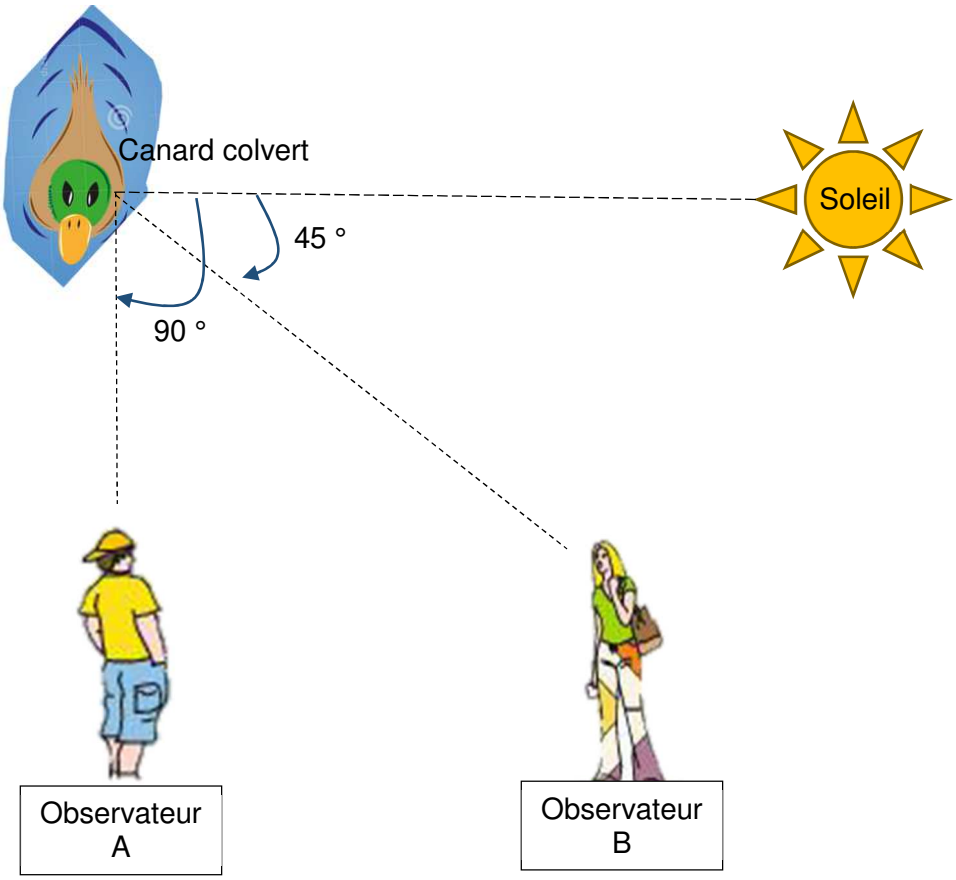


Figure 7 - Canard colvert éclairé par le soleil

I.3 - Le colibri aux mille couleurs

Le colibri est un oiseau-mouche possédant la faculté de faire jaillir des couleurs très vives qu'il ne possède pas à l'origine.
En effet, comme on le voit sur la **photo 6**, le plumage de cet oiseau peut passer du rouge rubis au bleu cuivré en une fraction de seconde.



Photo 6 - Photos de deux colibris aux couleurs changeantes
(rouge rubis à gauche, bleu cuivré à droite)
(Pour le lecteur, de nombreuses vidéos capturent un tel effet, par exemple ici https://youtu.be/Tmok46hXzgU).

Afin d'interpréter ces couleurs vives, il est nécessaire de s'intéresser davantage aux microlamelles des plumes de cet oiseau.
Une photographie obtenue au microscope électronique à balayage est fournie **photo 7**.

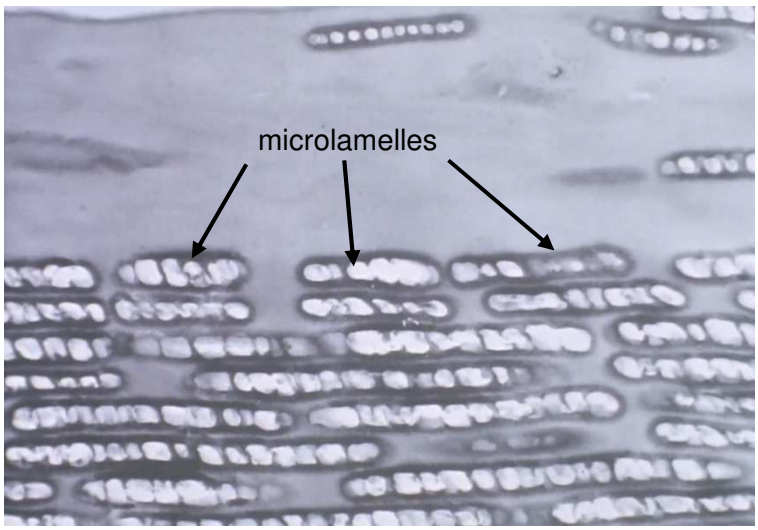


Photo 7 - Image obtenue au microscope électronique de quelques microlamelles
(grandissement x6000)

On peut y voir le réseau de microlamelles décrit dans la partie précédente mais aussi l'intérieur de chaque lamelle qui n'est pas totalement opaque et laisse passer la lumière par réfraction.

Ainsi, chaque microlamelle peut se comporter comme une lame à faces parallèles d'épaisseur e (**figure 8**) :

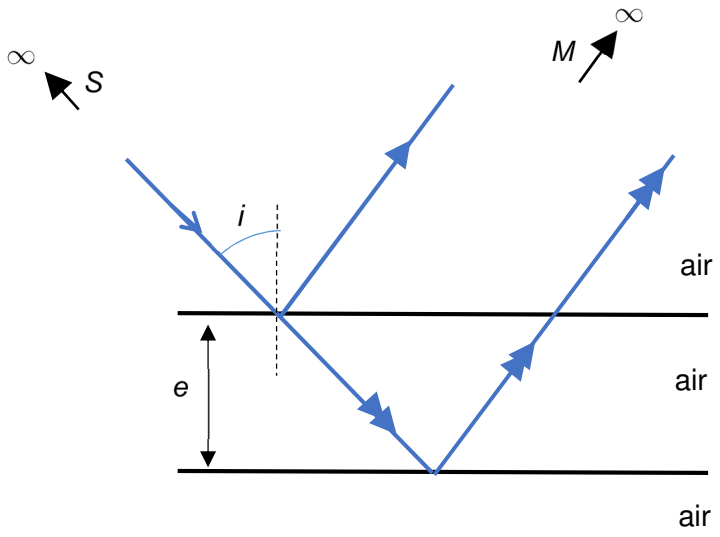


Figure 8 - Modélisation d'une microlamelle par une lame d'air à face parallèle

Q18. Montrer que la différence de marche entre les deux rayons de la **figure 8** partant d'une source S et atteignant un point M, tous deux à l'infini, s'écrit :

$$\delta(M) = 2e\cos i\,.$$

Q19. Par mesure sur la **photo 7**, déterminer la valeur de l'épaisseur e d'une microlamelle.

Q20. Pour un observateur éloigné, estimer le temps nécessaire au colibri pour que le plumage de sa tête passe du rouge au bleu lors de la rotation de celle-ci.
Pour cette question, à traiter dans le cadre d'une résolution de problème, on pourra supposer que :

- seul l'ordre $p = 1$ est à considérer ;
- l'alimentation du colibri en petits insectes et en nectar de fleurs lui procure en moyenne une dizaine de kilocalories par jour ;
- la rotation de sa tête nécessite un cent millième de son énergie journalière ;
- le couple résultant exercé sur le cou du colibri est de l'ordre de $0{,}01\cdot 10^{-3}$ Nm lors d'une rotation.

On rappelle que :

- $1\ \text{cal} = 4{,}18\ \text{J}$;
- la puissance reçue par un solide en rotation à la vitesse $\vec{\Omega}$ de la part d'un couple $\vec{\Gamma}$ s'écrit $P = \vec{\Gamma}\cdot\vec{\Omega}$.

Partie II - Les couleurs pigmentaires

Les flamants roses impressionnent par leur incroyable couleur rose fascinante (**photo 8**).
Cependant, les flamants roses ne naissent pas roses, ils le deviennent grâce à leur alimentation particulière. C'est en effet au sein de son régime alimentaire constitué essentiellement d'algues et de crevettes que l'on retrouve le pigment responsable de cette fameuse coloration rose : le pigment caroténoïde.



Photo 8 - Photo de flamants roses

Le spectre d'absorbance des caroténoïdes présente généralement trois bandes d'intensité inégale (**figure 9**). Ces bandes sont essentiellement présentes sur l'intervalle 400 - 500 nm.

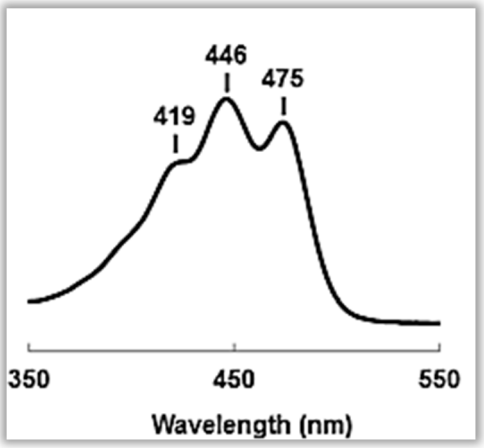


Figure 9 - Spectre d'absorption schématique du pigment caroténoïde

La structure chimique de ce pigment est variable, mais la plus célèbre est celle que l'on retrouve dans les carottes ou les citrouilles : la β-carotène (**figure 10**).

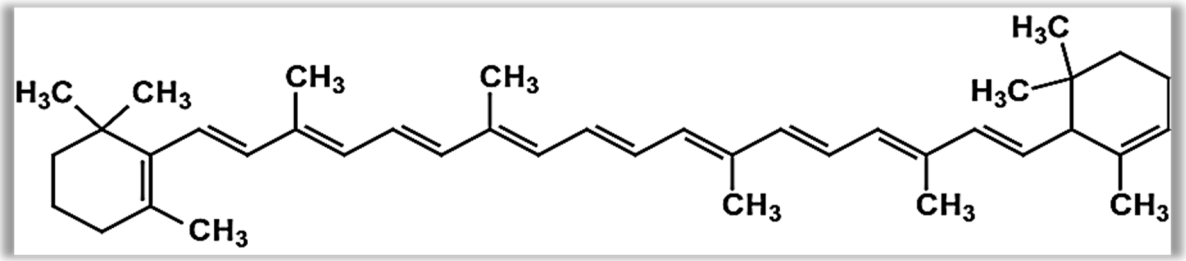


Figure 10 - Molécule β-carotène $C_{40}H_{56}$

Lors d'un phénomène d'absorption de la lumière, les photons incidents communiquent leur énergie aux électrons les moins liés au squelette moléculaire, c'est-à-dire aux électrons dits délocalisés. Ce sont notamment les électrons des doubles liaisons, les électrons π .

Q21. Dénombrer le nombre N d'électrons π présents dans la molécule de β-carotène.

Q22. Sachant que la distance entre deux atomes de carbone est estimée à 0,14 nm , évaluer la longueur L sur laquelle ces électrons π sont libres de se déplacer.

Une approche quantique consiste à modéliser le déplacement d'un électron π comme une particule confinée au fond d'un puits infiniment profond de largeur L , celle de la molécule (**figure 11**) :

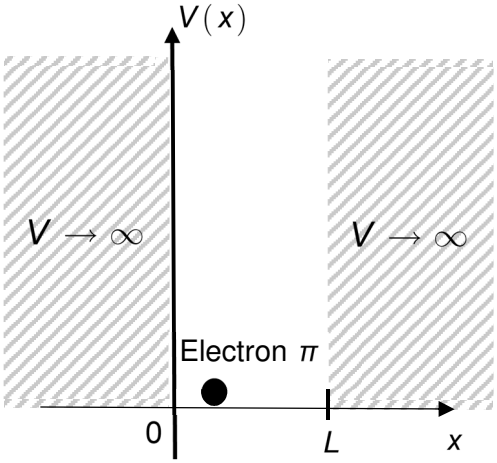


Figure 11 - Modélisation de la chaîne carbonée

Pour une particule quantique, il n'est pas possible de mesurer simultanément sa position et sa quantité de mouvement avec une grande précision. L'indétermination quantique sur la position x et celle sur la quantité de mouvement p_x sont reliées par l'inégalité de Heisenberg :

$$\Delta x \, \Delta p_x \gtrsim \hbar$$

avec $\hbar$ la constante de Planck réduite $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$.

L'indétermination quantique ΔZ d'une valeur Z représente la dispersion des résultats possibles pour la mesure de Z et est telle que :

$$(\Delta Z)^2 = \left\langle Z^2 \right\rangle - \left\langle Z \right\rangle^2$$

où $\langle \ \rangle$ représente la valeur moyenne des résultats possibles.

On donne $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s et $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg la masse d'un électron.

Q23. Déterminer l'expression de l'énergie E d'un électron au fond d'un puits infini en fonction de p_x et de m_e.

Q24. Proposer une valeur minimale pour l'énergie moyenne de l'électron faisant intervenir l'indétermination quantique Δp_x.

Q25. À l'aide de l'inégalité de Heisenberg, montrer alors que l'énergie moyenne d'un électron vérifie :

$$\langle E \rangle \gtrsim \frac{\hbar^2}{2m_e (\Delta x)^2}.$$

Q26. Quelle serait l'énergie minimale moyenne d'une particule classique dans la même situation ? Commenter sur le confinement d'une particule quantique.

L'étude quantique de l'électron π permet aussi de voir ses allers-retours au fond du puits comme une onde qui se propage dans un sens puis dans l'autre. On peut ainsi continuer l'étude en procédant par analogie avec l'onde sur une corde vibrante fixée à ses extrémités.

Q27. Relier, dans le cas d'une corde vibrante fixée à ses extrémités, la longueur d'onde λ et sa longueur L en introduisant un entier $n > 0$. Justifier alors que la longueur d'onde associée au déplacement de l'électron π est quantifiée.

On rappelle la relation de Louis de Broglie : $p = \dfrac{h}{\lambda}$ avec p la quantité de mouvement de l'électron.

Q28. Montrer alors que l'énergie de l'électron est quantifiée et s'écrit :

$$E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m_e L^2}$$

avec $n \in \mathbb{N}^*$.

En considérant le spin des électrons, deux électrons au maximum peuvent se trouver sur un même niveau d'énergie.

Q29. Placer les N électrons π sur un diagramme énergétique dans l'état fondamental. Quelle est la transition électronique de plus basse énergie possible pour certains de ces électrons ?

Q30. En déduire l'expression de la longueur d'onde du photon susceptible d'être absorbé par la molécule.

Q31. Application numérique : dans quel domaine du spectre électromagnétique se situe une telle radiation ? Est-ce cohérent avec le spectre d'absorbance de la **figure 9** ?

En raison des groupes méthyle latéraux sur la chaîne carbonée et des interactions électrons/noyaux ou électrons/électrons, la modélisation précédente doit être corrigée. Ces corrections peuvent être intégrées dans la longueur L qui prend alors la valeur $L_{cor} = 1{,}8\ \text{nm}$.

Q32. Refaire le calcul de la longueur d'onde λ_{cor} du photon absorbé. Interpréter alors la couleur des flamants roses.

PROBLÈME 2

Suspension de voiture

Les suspensions d'un véhicule ont pour objectif principal d'assurer la meilleure tenue de route possible, de façon à garantir la sécurité des occupants.
Il existe de nombreux types de suspensions dont le rôle est notamment de contrôler le déplacement vertical d'un véhicule.
Par la suite, nous allons nous intéresser aux suspensions à ressorts disposant d'amortisseurs rhéomagnétique (**figure 12**).
Différents éléments participent à l'amortissement mais tous les effets seront ramenés au niveau des suspensions dont seul le déplacement vertical est étudié.
L'étude est menée en référentiel galiléen et l'on note $\vec{g} = -g\vec{e}_z$ l'accélération du champ de pesanteur.

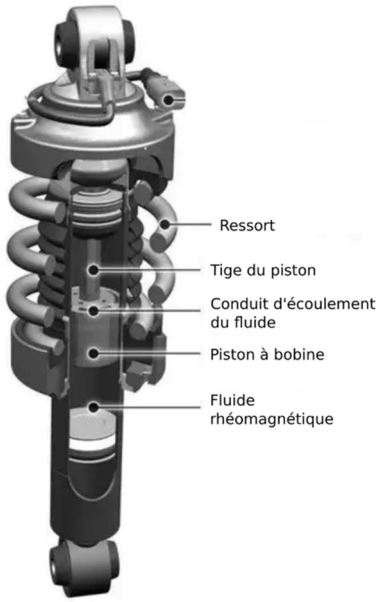


Figure 12 - Schéma d'une suspension à ressort avec amortisseur rhéomagnétique

Q33. Donner un exemple de référentiel galiléen. Préciser le ou les liens qui existent entre deux référentiels galiléens.

Le véhicule, de masse M, repose de façon équivalente sur quatre amortisseurs supposés identiques. On note m la masse supportée par un seul amortisseur.

Q34. Quelle masse m supporte un amortisseur ?

Partie I - Suspension passive

I.1 - Suspension sans amortissement

On modélise la suspension sans amortisseurs d'une voiture par un ressort de constante de raideur k et de longueur à vide ℓ_0, sur lequel repose la masse m (**figure 13)**.

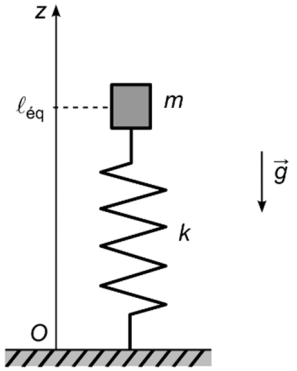


Figure 13 - Modélisation d'une suspension à ressort

Q35. Déterminer la longueur à l'équilibre du ressort, $\ell_{éq}$, en fonction de g, k, ℓ_0 et de m.

Q36. Donner, en fonction de k et de m, l'expression de la pulsation propre ω_0 du système. Justifier son expression par une analyse dimensionnelle.

Une association simple de deux ressorts peut se faire en série ou en parallèle (**figure 14**).
Soient deux ressorts de longueur à vide identique ℓ_0 et de constantes de raideur k_1 et k_2. Selon l'association réalisée, la constante de raideur équivalente vaut k_s en série ou k_p en parallèle.

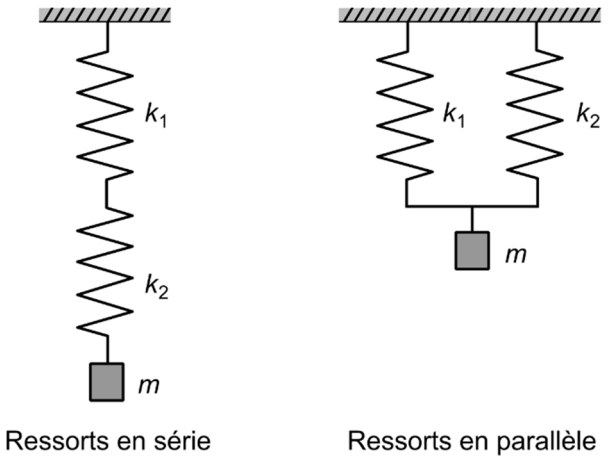


Figure 14 - Associations série et parallèle de deux ressorts

Q37. Démontrer que, pour une association de deux ressorts en parallèle, $k_p = k_1 + k_2$.

Q38. Les quatre amortisseurs étant supposés identiques, donner l'expression de la constante de raideur équivalente k_v de l'ensemble du véhicule, en fonction de la constante k de l'un d'entre eux.

Q39. En déduire l'expression de la pulsation propre de la voiture Ω_0 en fonction de ω_0.

I.2 - Suspension avec amortissement

Pour le confort des occupants du véhicule, il est préférable d'en réduire rapidement les oscillations. Pour ce faire, la suspension comporte un dispositif amortisseur (**figure 15**) qui exerce une force de frottement fluide $\vec{F}_f$.

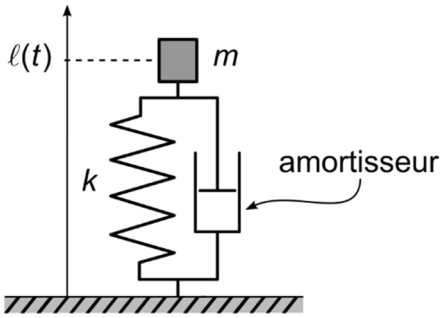


Figure 15 - Suspension avec amortisseur

La force de frottement fluide s'écrit :

$$\vec{F_f} = -h\frac{dz}{dt}\vec{e}_z$$

avec $z(t) = \ell(t) - \ell_0 + \frac{mg}{k}$ la variable repérant la position de la masse m à partir de sa position d'équilibre.

Q40. Montrer que l'équation différentielle du mouvement vertical d'un amortisseur de la voiture soutenant la masse m se met sous la forme :

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{dz}{dt} + \omega_0^2 z = 0$$

et déterminer les expressions de ω_0 et Q en fonction de k, h et de m.

Q41. En déduire, en fonction de h et de m, la valeur limite k_c de k permettant le retour le plus rapide du système à sa position d'équilibre (régime critique).

Q42. À la construction du véhicule, le régime d'oscillations correspond au régime apériodique. Si l'on charge trop le véhicule, existe-t-il un risque de passer en régime pseudopériodique ?

L'amortisseur a été soumis à une excitation sinusoïdale de fréquence variable et l'amplitude des oscillations obtenues a été enregistrée pour différentes valeurs de m, ce qui a permis d'obtenir les courbes de résonance de la **figure 16**.

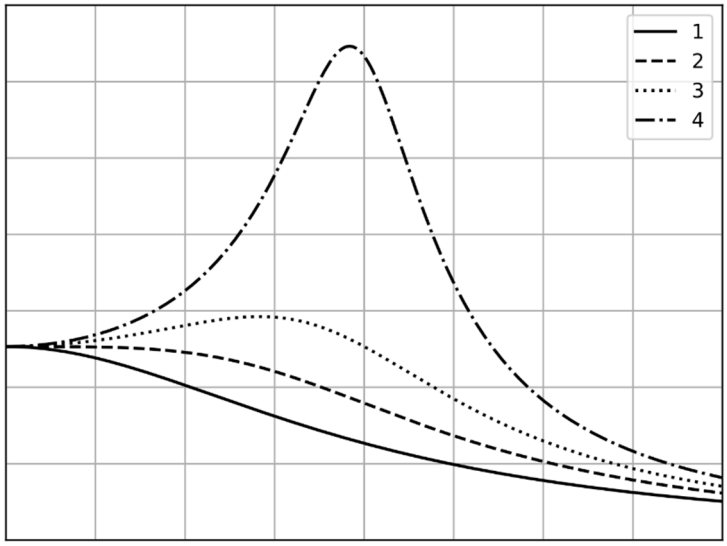


Figure 16 - Courbes de résonance

Q43. Proposer des grandeurs pour l'axe des abscisses et des ordonnées de la **figure 16**.

Q44. Expliquer quelle courbe correspond à la masse la plus élevée.

Partie II - Origine de la force de l'amortisseur

L'amortisseur est constitué d'un piston cylindrique de rayon r_1 qui peut se déplacer dans un fluide visqueux le long de l'axe d'un cylindre de rayon r_2 (**figure 17**).

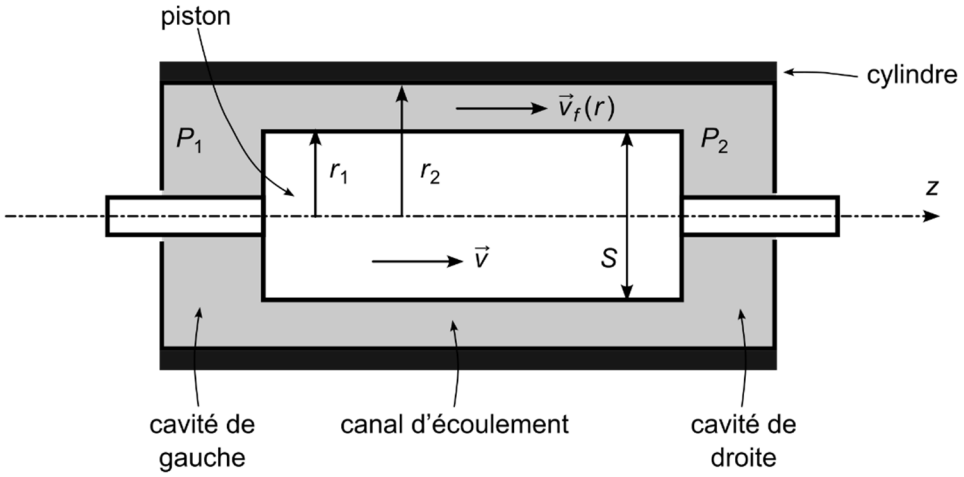


Figure 17 - Schéma en coupe d'un amortisseur

Lors de son mouvement, le piston subit une force de frottement fluide $\vec{F}_f = -h\vec{v}$. Elle est composée d'une force de pression $\vec{F}_p$ et d'une force de viscosité $\vec{F}_v$:

$$\begin{cases} \vec{F}_p = -h_1\vec{v} \\ \vec{F}_v = -h_2\vec{v} \end{cases} \Rightarrow \vec{F}_f = \vec{F}_p + \vec{F}_v = -(h_1 + h_2)\vec{v} \Rightarrow \vec{F}_f = -h\vec{v}$$

avec h_1, h_2 et h des constantes positives.
Nous allons justifier les expressions de chacune de ces forces.
Dans cette partie, l'effet de la pesanteur est négligeable devant l'effet des autres forces.

II.1 - Force due à la pression

Le déplacement du piston induit une différence de pression, $\Delta P = P_1 - P_2$ (**figure 17**), entre les cavités de gauche et de droite, ce qui entraîne la circulation du fluide. Si le piston se déplace vers la droite, le volume de la cavité de droite diminue et le fluide se déplace vers la cavité de gauche par le canal d'écoulement.

On note $\vec{v} = v\,\vec{e}_z$ la vitesse du piston et S sa section.
On considère le fluide en écoulement incompressible et stationnaire.

L'**équation (2)**, établie plus loin, permet de démontrer que la vitesse du piston est proportionnelle à la différence de pression et s'écrit donc :

$$v = \alpha\Delta P \qquad \textbf{(1)}$$

avec α une constante positive ou négative.

Q45. Proposer un signe pour α .

Q46. La force de pression exercée par le fluide sur le piston vaut :

$$\vec{F}_p = P_1 S\vec{e}_z - P_2 S\vec{e}_z = \Delta P S\vec{e}_z .$$

En déduire alors que cette force est bien proportionnelle à la vitesse du piston et se met sous la forme $\vec{F}_p = -h_1\vec{v}$.

II.2 - Force due à la viscosité : écoulement de Poiseuille

Le fluide contenu dans l'amortisseur est un fluide visqueux de coefficient de viscosité dynamique η en écoulement incompressible et considéré comme stationnaire.
Le fluide s'écoule le long de l'axe z dans un cylindre de rayon R, sous l'effet de la différence de pression $\Delta P = P_1 - P_2$, à la vitesse $\vec{v}_f = v_f(r)\vec{e}_z$ (**figure 18**).

On rappelle que la force de viscosité s'exerçant sur la surface latérale $S_{lat} = 2\pi rL$ d'un cylindre de fluide de rayon r et de longueur L, a pour expression :

$$\vec{F}_v = \pm\,\eta\frac{dv_f}{dr}S_{lat}\vec{e}_z .$$

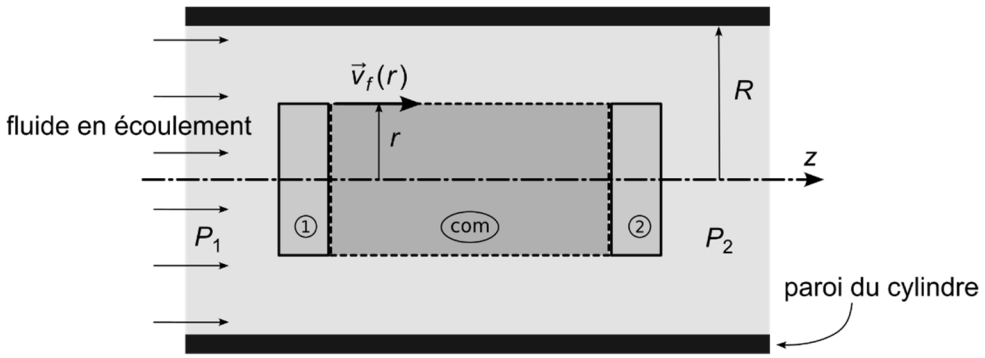


Figure 18 - Écoulement d'un fluide dans un cylindre

Le système est supposé être de grande dimension dans la direction z par rapport aux autres dimensions.

Q47. Justifier que le champ des vitesses $\vec{v}_f$ ne dépend pas des variables θ et z.

On considère le système fermé constitué du fluide contenu à l'instant t dans un cylindre de rayon r et de longueur L (**figure 18**), dont on note $\vec{p}(t)$ le vecteur quantité de mouvement. On admet que la résultante des forces de pression latérales est nulle.

Q48. En appliquant la deuxième loi de Newton sur ce système, montrer que :

$$\vec{p}(t+dt) - \vec{p}(t) = \left[\Delta P\pi r^2 + \eta 2\pi rL\frac{dv_f}{dr}\right]dt\vec{e}_z .$$

Le système fermé considéré est constitué (**figure 18**) :

- à la date t : du volume ① et du volume commun noté (com) ;
- à la date $t+dt$: du volume ② et du volume commun (com).

Q49. En effectuant un bilan de quantité de mouvement sur ce système, pendant l'intervalle de temps infinitésimal dt, montrer que :

$$\vec{p}(t+dt) - \vec{p}(t) = \vec{0}$$

et déduire de la question précédente que :

$$\frac{dv_f}{dr} = -\frac{\Delta P}{2\eta L} r \,. \qquad \textbf{(2)}$$

Q50. On admet que la force de viscosité exercée par le fluide présent dans le canal d'écoulement sur le piston et le cylindre (**figure 17**) a pour expression :

$$\vec{F}_v = \eta \left(\frac{dv_f}{dr} \right)_{r_1} 2\pi\, r_1\, L \vec{e}_z - \eta \left(\frac{dv_f}{dr} \right)_{r_2} 2\pi\, r_2\, L \vec{e}_z \,. \qquad \textbf{(3)}$$

Montrer, à l'aide des **équations (1)**, **(2)** et **(3)**, que la force de viscosité est proportionnelle à la vitesse de déplacement du piston et se met sous la forme $\vec{F}_v = -h_2 \vec{v}$.

Partie III - Suspension active

Certains véhicules sont équipés de suspensions dites " actives ", dont l'action est contrôlée électriquement. Pour cela, on disperse dans le fluide de l'amortisseur des particules ferromagnétiques de très faible dimension (de l'ordre du micromètre). Une bobine, insérée dans le piston (**figure 19**), crée un champ magnétique qui affecte le déplacement des particules ferromagnétiques et donc du fluide qui le contient, ce qui a pour effet de modifier le coefficient de viscosité apparent du fluide.
Ainsi, il est possible d'agir électriquement sur les paramètres de la suspension.

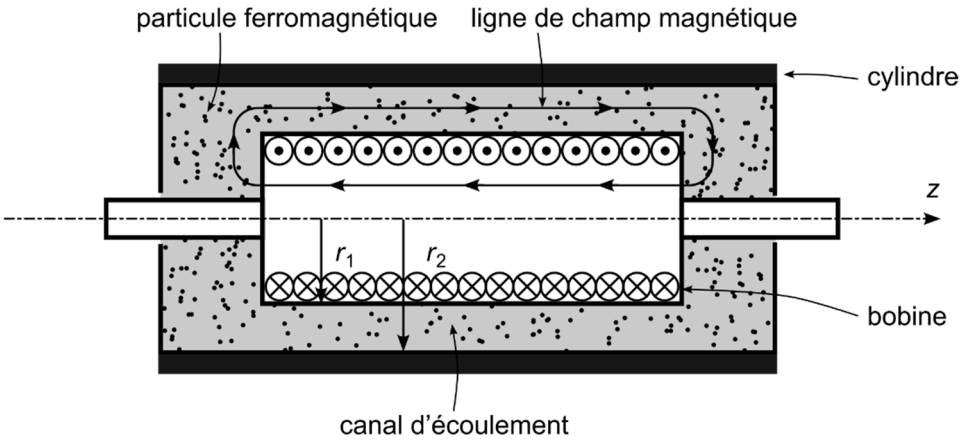


Figure 19 - Schéma d'une suspension dite " active "

La bobine placée dans le piston comporte n spires jointives par unité de longueur, parcourues par le courant d'intensité constante i.

Q51. Énoncer l'équation locale de Maxwell-flux (aussi appelée équation de Maxwell-Thomson). Quelle propriété du flux du champ magnétique peut-on en déduire ?

On suppose que le champ magnétique dans la bobine est de la forme $\vec{B}_{\text{int}} = -Kni\vec{e}_z$, où K est une constante positive. Du fait de la présence des particules ferromagnétiques, les lignes de champ magnétique sortant de la bobine sont entièrement contenues dans le canal d'écoulement qui est de faible dimension.

Q52. Expliquer graphiquement où sont situées les zones de fortes variations du champ magnétique.

Q53. Montrer, à l'aide de la forme intégrale de l'équation de Maxwell-flux, que le champ magnétique B_c dans le canal d'écoulement s'écrit :

$$B_c = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} B_{\text{int}} .$$

Une particule ferromagnétique est assimilable à un dipôle magnétique de moment magnétique $\vec{m}$. Placé dans le champ magnétique $\vec{B}$, ce dipôle magnétique subit la force $\vec{F}_m = \left(\vec{m} \cdot \overrightarrow{grad}\right)\vec{B}$.

Q54. Expliquer qualitativement comment fonctionne un amortisseur rhéomagnétique.

FIN

IMPRIMERIE NATIONALE – 23 1153 – D'après documents fournis

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TPC chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Optique géométrique et formation des images
- Superposition d'ondes lumineuses, trous d'Young et réseau
- Modèle scalaire des ondes lumineuses
- Équations différentielles linéaires du second ordre

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/tpc