

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2010

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

Les pages d'annexes (pages 11 et 12) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elles n'ont pas été complétées.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I. TRAITEMENTS D'UNE INFECTION VIRALE (6,5 points)

Pour une infection provoquée par le virus Influenza, deux types de traitements peuvent être prescrits aux patients : les traitements symptomatiques tels que les antipyrétiques (paracétamol, ibuprofène,...) et les traitements antiviraux (oséltamivir, zanamivir,...)

Dans un laboratoire, on reçoit deux comprimés : l'un étant de l' « ibuprofène 100 mg » et l'autre de l' « oséltamivir 75 mg ». Ces médicaments contiennent un principe actif différent et d'autres espèces chimiques appelées excipients. Le principe actif est l'espèce chimique utile au traitement. Par exemple, pour le comprimé « ibuprofène 100 mg », il s'agit de l'ibuprofène.

Dans cet exercice on se propose de vérifier l'identité des deux comprimés, puis de réaliser le dosage pH-métrique de l'ibuprofène et enfin d'étudier quelques propriétés de l'oséltamivir.

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.

1. Identification des comprimés d'ibuprofène et d'oséltamivir

1.1. Analyse chromatographique

On réalise une chromatographie sur couche mince des deux comprimés reçus que l'on nomme arbitrairement A et B. L'éluant utilisé est un mélange complexe de solvants organiques.

Identifier, en justifiant les réponses, les deux comprimés A et B à partir du chromatogramme représenté en **figure 1**.

Dépôt 1 : principe actif du comprimé A

Dépôt 2 : principe actif du comprimé B

Dépôt 3 : ibuprofène de référence

Dépôt 4 : « oséltamivir » de référence

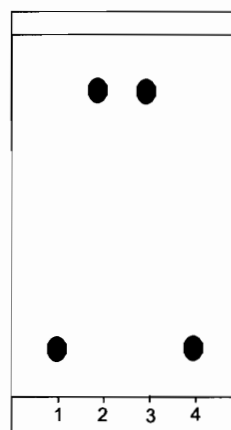


Figure 1. Chromatogramme

1.2. Principe actif

Données :

- masse molaire de l'ibuprofène : $M_i = 206 \text{ g.mol}^{-1}$;

- masse molaire de l'oséltamivir : $M_o = 312 \text{ g.mol}^{-1}$.

Aide au calcul : $\frac{100}{206} = 0,485$; $100 \times 206 = 2,06 \times 10^4$; $\frac{312}{485} = 0,643$; $312 \times 485 = 1,51 \times 10^5$

1.2.1. La masse du comprimé d' « ibuprofène 100 mg » est de 300 mg. Celle du comprimé d' « oséltamivir 75 mg » est de 225 mg. Expliquer la différence entre les masses annoncées et les masses mesurées.

1.2.2. Déterminer la quantité de matière de principe actif contenu dans le comprimé d' « ibuprofène 100 mg ».

1.2.3. Calculer la masse d'oséltamivir correspondant à la même quantité de matière.

1.2.4. Les deux comprimés contiennent-ils la même quantité de matière de leur principe actif ? Justifier.

2. Dosage pH-métrique de l' « ibuprofène »

On souhaite vérifier la masse d'ibuprofène présente dans un comprimé. L'ibuprofène a été synthétisé pour la première fois dans les années 1960. Sa formule correspond à la **figure 2**.

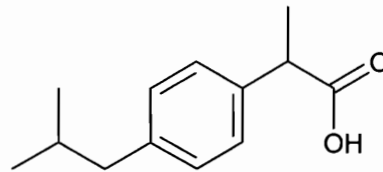


Figure 2. Ibuprofène

2.1. Préparation de la solution aqueuse d'ibuprofène

On broie puis on dissout le comprimé contenant l'ibuprofène dans 30 mL d'éthanol. Les excipients y sont insolubles. On filtre alors sous vide le mélange. Le filtrat, contenant l'ibuprofène dissous, est dilué dans 70 mL d'eau. On obtient une solution S d'ibuprofène dont on admet qu'elle a le même comportement qu'une solution aqueuse.

2.1.1. En utilisant les mots contenus dans le tableau ci-dessous, légénder le schéma de la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**.

filtrat	fiolle à vide	papier filtre
entonnoir Büchner	excipients solides	vers la trompe à vide

2.1.2. Expliquer pourquoi la filtration sous vide est préférée à la filtration simple.

2.2. Réalisation du dosage pH-métrique de l'ibuprofène

On dose l'ibuprofène contenu dans la solution S à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) de concentration en soluté apporté $c_B = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. La mesure du pH permet de tracer les courbes de la **FIGURE 4 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**.

2.2.1. À l'aide de la formule de l'ibuprofène (**figure 2**), expliquer pourquoi il est possible de doser la solution S par une solution d'hydroxyde de sodium.

2.2.2. On note l'ibuprofène AH. Écrire l'équation de la réaction support du dosage.

2.2.3. À l'aide du graphique de la **FIGURE 4 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**, justifier qu'aux erreurs de mesure près, le volume versé à l'équivalence est $V_{BE} = 9,4 \text{ mL}$.

2.2.4. Parmi les propositions ci-dessous, choisir, en le justifiant, l'expression littérale correcte pour déterminer la masse effective m d'ibuprofène dans le comprimé où M_i est la masse molaire de l'ibuprofène.

a. $m = \frac{c_B \cdot V_{BE}}{M_i}$ b. $m = \frac{c_B \cdot M_i}{V_{BE}}$ c. $m = \frac{M_i \cdot V_{BE}}{c_B}$ d. $m = c_B \cdot V_{BE} \cdot M_i$

2.2.5. Calculer la masse effective m d'ibuprofène dans le comprimé et conclure.

Aide au calcul : $\frac{5,00 \times 9,4}{2,06} = 23$; $\frac{5,00 \times 2,06}{9,4} = 1,1$; $\frac{2,06 \times 9,4}{5,00} = 3,9$; $2,06 \times 5,00 \times 9,4 = 97$

3. Propriétés de l'oséltamivir

L'oséltamivir a été développé vers 1995. Sa formule semi-développée correspond à la **figure 5**.

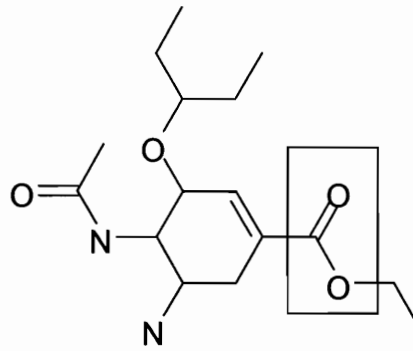


Figure 5. Oséltamivir

Par souci de simplification d'écriture, cette formule sera notée $R_1-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-R_2$.
 R_1 étant un groupe n'intervenant pas dans le sujet et contenant les éléments C, H, O et N.

3.1. Groupes caractéristiques

3.1.1. Nommer le groupe caractéristique encadré.

3.1.2. Donner la formule semi-développée du groupe R_2 .

3.2. Transformation chimique de l'oséltamivir

L'oséltamivir, une fois ingéré, est transformé par une enzyme en ion carboxylate ; celui-ci agit alors sur le virus. On admet que l'enzyme joue le même rôle que l'ion hydroxyde HO^- sur le groupe caractéristique encadré.

3.2.1. Écrire la réaction entre l'oséltamivir (noté $R_1-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-R_2$) et l'ion hydroxyde.

3.2.2. Comment se nomme cette réaction ?

3.2.3. Donner les deux caractéristiques de la réaction chimique précédente.

3.3. Première étape de la synthèse de l'oséltamivir

En 2005, il a été révélé que l'oséltamivir était produit à partir de l'acide shikimique (voir **figure 6**) contenu dans la badiane chinoise, aussi appelée anis étoilé et cultivée dans le sud de la Chine. Cet acide, qui ne présente aucune activité antivirale, subit de multiples transformations avant de devenir l'oséltamivir. La première étape est une estérification entre l'acide shikimique et l'éthanol.

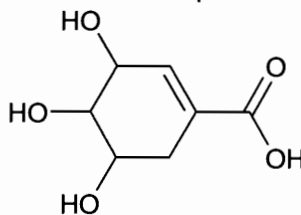


Figure 6. Acide shikimique

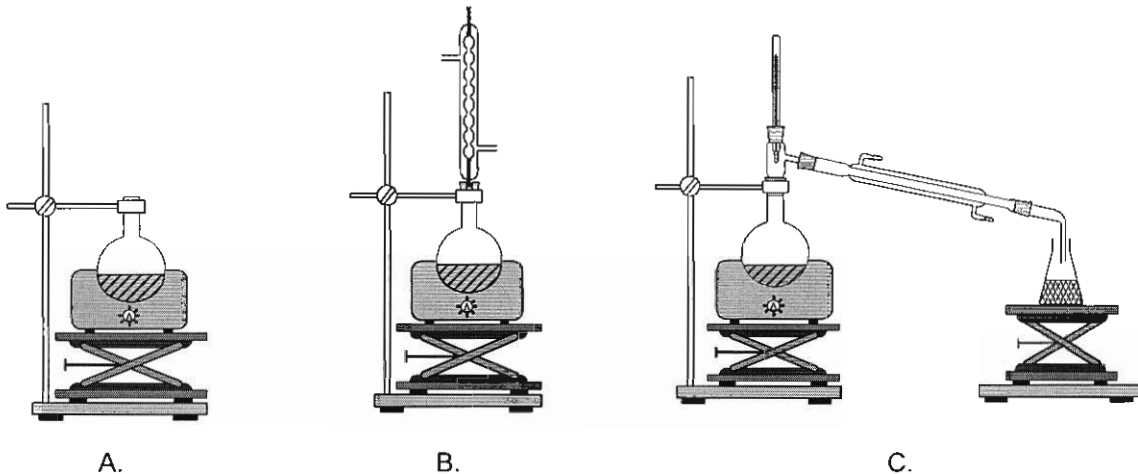
3.3.1. Caractéristiques d'une estérification

- Écrire l'équation de la réaction d'estérification entre l'acide shikimique (noté $R-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$) et l'éthanol, en formule semi-développée.
- Citer deux caractéristiques de cette réaction d'estérification.

3.3.2. Synthèse de l'ester

On dissout 200 mg d'acide shikimique dans 10 mL d'éthanol et on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique, ainsi que quelques grains de pierre ponce. On chauffe à reflux le mélange réactionnel.

- a. Parmi les trois propositions ci-dessous, choisir le schéma correct correspondant au protocole décrit :



- b. Quel est le rôle du réfrigérant à eau ?
c. Quel est l'intérêt de chauffer le mélange réactionnel ?
d. Quel est l'intérêt d'ajouter de l'acide sulfurique ?

3.3.3. Rôles de l'éthanol

- a. Parmi les propositions ci-dessous, choisir la (ou les) réponse(s) correctes relatives au(x) rôle(s) joué(s) par l'éthanol :
- A. catalyseur B. réactif C. solvant
- b. Quel est l'intérêt d'utiliser l'éthanol en excès sur l'état d'équilibre du système ?
c. Une réaction est-elle possible entre deux groupes caractéristiques de deux molécules d'acide shikimique ? Justifier.

EXERCICE II. LA NUIT DU 21 JUIN 1822 (5,5 points)

L'une des expériences historiques permettant de déterminer la célérité du son dans l'air a été réalisée en 1822 près de Paris par ordre du Bureau des Longitudes. Présenté ci-dessous, l'extrait du traité élémentaire de physique (1836) de Monsieur l'abbé Pinault relate cette expérience.

Les deux stations que l'on avait choisies étaient Villejuif et Montlhéry. À Villejuif, le capitaine Boscary fit déposer, sur un point élevé, une pièce de six¹, avec des gargousses² de deux et trois livres de poudre. À Montlhéry, le capitaine Pernetty fit déposer une pièce de même calibre, avec des gargousses de même poids. Les expériences furent faites de nuit et commencèrent à onze heures du soir, le 21 et le 22 juin 1822. De Villejuif on apercevait très distinctement le feu de l'explosion de Montlhéry et vice versa : le ciel était serein et à peu près calme.

La température de l'atmosphère était de 15,9 degrés Celsius. Les coups de canon des deux stations opposées étaient réciproques, de sorte que les résultats ne fussent pas influencés par le vent.

Chacun des observateurs notait sur son chronomètre le temps qui s'écoulait entre l'apparition de la lumière et l'arrivée du son. On peut prendre 54,6 secondes pour le temps moyen que le son mettait à passer d'une station à l'autre. Les deux canons étaient à une distance de 9 549,6 toises³.

¹ pièce de canon.

² charge de poudre contenue dans une enveloppe de tissu ou de papier au diamètre de la chambre du canon.

³ unité de longueur ancienne qui correspond à 1,949 m.

Données :

- célérité de la lumière dans l'air $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
- constante des gaz parfaits $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$;
- masse d'une mole d'air $M = 2,9 \times 10^{-2} \text{ kg.mol}^{-1}$;
- température absolue $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,1$.

1. Détermination expérimentale et historique de la célérité des ondes sonores dans l'air

1.1. Les ondes sonores sont des ondes mécaniques longitudinales. Définir une onde mécanique puis préciser ce que signifie le caractère longitudinal de l'onde sonore.

1.2. Dans l'expérience, la célérité des ondes sonores produites par les deux canons opposés est-elle augmentée, diminuée ou inchangée lors de leur croisement ?

1.3. En utilisant les valeurs mesurées par les observateurs, calculer la valeur de la célérité des ondes sonores, notée v_{exp} . D'après le texte, pour les observateurs, de quel(s) paramètre(s) dépend, a priori, la célérité du son ?

Aide au calcul :

$$\frac{9549,6}{1,9490} = 4899,7 \quad ; \quad 9549,6 \times 1,9490 = 18612 \quad ; \quad \frac{4899,7}{54,6} = 89,7 \quad ; \quad \frac{54,6}{18612} = 293 \times 10^{-5} \quad ; \quad \frac{18612}{54,6} = 341$$

1.4. Les observateurs déclenchent leur chronomètre à l'apparition de la lumière. Quelle durée négligent-ils ? Pourquoi est-ce raisonnable ?

2. Détermination de la célérité des ondes sonores dans l'air en utilisant un modèle théorique

Le développement de la mécanique des fluides a permis d'élaborer un modèle pour la propagation des ondes mécaniques dans les gaz. L'expression théorique de la célérité de ces ondes qui découle de ce modèle est :

$$v_{\text{théo}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

avec M la masse d'une mole d'air, T sa température absolue, R la constante des gaz parfaits et γ un nombre sans dimension qui dépend notamment des propriétés de l'air.

La valeur du coefficient γ de l'air a été déterminée par Rückhardt (1929, scientifique allemand) en utilisant les propriétés élastiques des gaz avec le dispositif schématisé **figure 7**.

Un piston étanche coulisse sans frottement dans un tube cylindrique ; le tube et le récipient enferment une quantité de matière n_0 d'air. Le piston écarté de sa position d'équilibre oscille autour de cette position d'un mouvement analogue à celui de l'oscillateur élastique {ressort + solide de masse m }.

Le système {air + piston de masse m } est équivalent à un système {ressort + solide de masse m }.

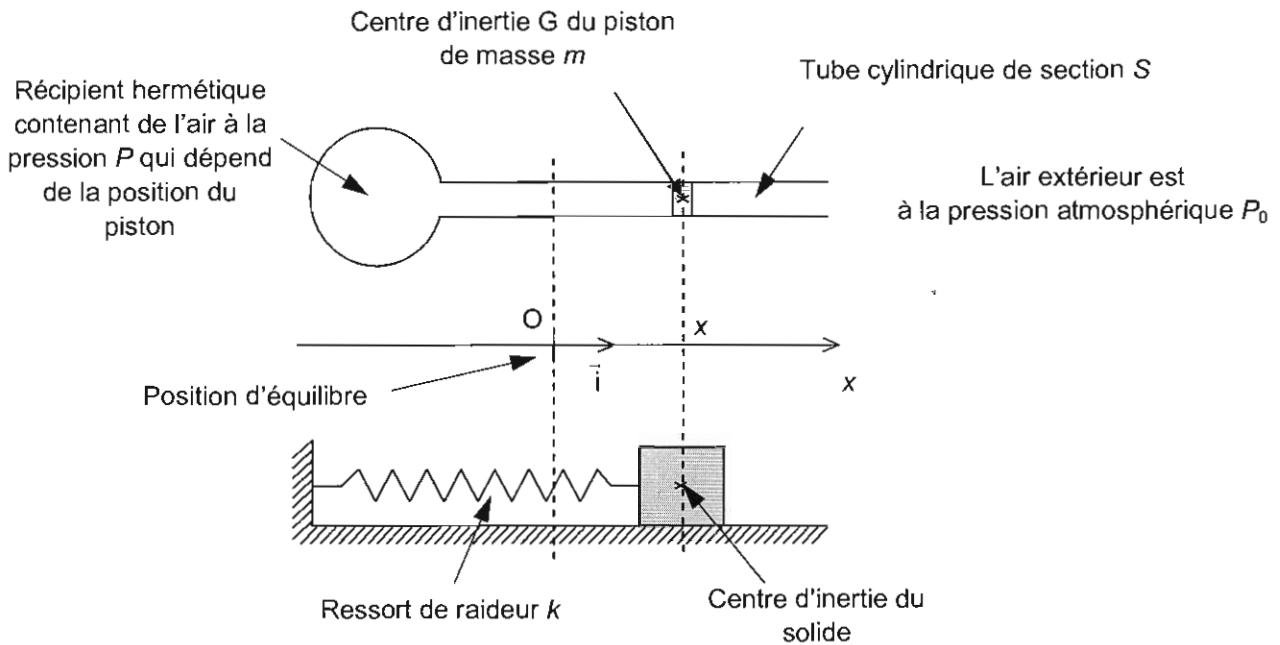


Figure 7. Système {air + piston} et système {ressort + solide}

Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

La position du piston est repérée par son abscisse x sur l'axe Ox dont l'origine O est confondue avec la position du piston à l'équilibre.

Dans tout l'exercice, les frottements sont négligés. L'air extérieure et l'air intérieure sont à la même température. Cette température est constante tout au long de l'expérience, on la note T_0 .

2.1. Le piston est soumis aux forces citées ci-dessous :

- Le poids \vec{P}
- La réaction du support \vec{R}
- Les forces pressantes de l'air à l'intérieur du récipient, dont la somme est équivalente à une force unique \vec{F}_{int}
- Les forces pressantes de l'air à l'extérieur du récipient, dont la somme est équivalente à une force unique \vec{F}_{ext}

Donner pour chacune de ces forces la nature de l'interaction : interaction de contact ou à distance.

2.2. L'ensemble des forces s'exerçant sur le piston est équivalent à une force unique horizontale :

$$\vec{F} = -kx\vec{i} \quad \text{avec} \quad k = \frac{\gamma S^2 P_0^2}{n_0 R T_0} \quad \text{où } k \text{ est une constante positive}$$

Pourquoi peut-on dire que cette force se comporte comme une force de rappel ? Justifier.

2.3. Écarté de sa position d'équilibre, le piston oscille autour de cette position avec une fréquence propre notée f_0 .

2.3.1. Énoncer la deuxième loi de Newton.

2.3.2. Déterminer l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie G du piston, en projetant sur l'axe (Ox) l'égalité vectorielle obtenue en appliquant la deuxième loi de Newton.

2.3.3. L'équation différentielle obtenue peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 4\pi^2 f_0^2 x = 0$$

En déduire l'expression de k en fonction de la masse m du piston et de sa fréquence propre f_0 .

2.4. Montrer que le coefficient γ a pour expression : $\gamma = \frac{4\pi^2 f_0^2 m n_0 R T_0}{S^2 P_0^2}$.

2.5. Dans les unités du système international, on trouve $\gamma = 1,4$ à la température $\theta = 15,9^\circ\text{C}$ de l'atmosphère dans la nuit du 21 juin 1822.

Recopier et compléter le calcul qu'il faut poser pour obtenir ce résultat.

$$\gamma = \frac{4\pi^2 \times 1,0^2 \times \dots \times 1,0 \times 8,3 \times \dots}{(3,1 \times 10^{-4} \times 1,013 \times 10^5)^2} = 1,4$$

Données :

- masse du piston : $m = 14,8 \text{ g}$;
- section du tube cylindrique : $S = 3,1 \text{ cm}^2$;
- fréquence propre : $f_0 = 1,0 \text{ Hz}$;
- pression atmosphérique : $P_0 = 1,013 \text{ bar}$;
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$;
- quantité de matière d'air enfermé : $n_0 = 1,0 \text{ mol}$.

2.6. Calculer la valeur théorique $v_{\text{théo}}$ de la célérité des ondes sonores dans l'air à cette température θ .

Aide aux calculs : $\frac{1,4 \times 8,3}{2,9} = 4,0$;	$\sqrt{289} = 17$;	$\frac{2,9}{(1,4 \times 8,3)} = 25 \times 10^{-2}$;	$\frac{17}{5} = 3,4$
---	---------------------	--	----------------------

3. Cohérence avec la mesure effectuée dans la nuit du 21 juin 1822

3.1. Vérifier que la valeur théorique $v_{\text{théo}}$ est proche de la valeur expérimentale v_{exp} déterminée dans la question 1.3.

3.2. Si l'expérience s'était déroulée en hiver avec une température extérieure de 0°C et en considérant que γ reste constant, la valeur trouvée de la célérité serait-elle plus grande ou plus petite ? Justifier.

EXERCICE III. AFFICHAGE TÊTE HAUTE (4 points)

Le dispositif d'**Affichage Tête Haute (ATH)** est principalement utilisé dans les avions de chasse et certaines voitures. Il consiste à projeter des informations (valeur de la vitesse instantanée, indication sur la route à suivre ...), devant le pare-brise d'un véhicule, dans le bas du champ de vision du conducteur. Ces images se superposent au paysage et permettent donc au conducteur de voir les informations fournies sans quitter la route des yeux (**figure 8**).



Figure 8. Vue du tableau de bord d'un véhicule muni de l'affichage tête haute

La première partie de cet exercice montre l'intérêt de ce dispositif d'affichage du point de vue de la sécurité et la deuxième partie en étudie le principe simplifié.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

1. Intérêt du dispositif ATH

On étudie, au préalable, la lecture de la vitesse affichée au compteur par un conducteur dans un véhicule qui n'est pas équipé du dispositif d'affichage ATH.

L'œil du conducteur est modélisé par l'ensemble constitué de :

- une lentille mince convergente, de centre O, de foyer image $F'_{\text{œil}}$ et de distance focale $f'_{\text{œil}}$ réglable, qui représente le système optique convergent de l'œil ;
- un écran plat vertical représentant la rétine, sur laquelle se forme l'image.

L'orbite de l'œil n'étant pas déformable, la distance entre l'écran et la lentille est fixe.

Le schéma de ce modèle se trouve en **FIGURE 9 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**.

On rappelle qu'un œil normal au repos voit net un objet situé à l'infini.

1.1. Le conducteur voit net un objet AB situé à l'infini.

1.1.1. Sur la **FIGURE 9 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**, tracer l'image A'B' de l'objet AB situé à l'infini.

1.1.2. Indiquer, sur la figure **9 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**, les positions du foyer objet $F_{\text{œil}}$ et du foyer image $F'_{\text{œil}}$ de la lentille modélisant l'œil du conducteur.

1.2. L'expression de la relation de conjugaison pour une lentille mince est :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

1.2.1. Que représentent les distances OA, OA' et OF' ?

1.2.2. Définir la vergence C d'une lentille en indiquant son unité.

1.3. Pour contrôler sa vitesse, le conducteur regarde maintenant le compteur de vitesse situé à une distance d'environ un mètre de son œil.

La valeur de la vergence de la lentille qui modélise l'œil doit-elle augmenter ou diminuer par rapport à sa valeur au repos pour voir nettement le compteur de vitesse ? Justifier.

1.4. La notice d'utilisation d'un afficheur tête haute du commerce donne les informations suivantes :

«En disposant d'informations dans son champ de vision, le conducteur évite ainsi des allers et des retours du regard entre le tableau de bord et la route. L'effet d'éloignement des images projetées lui évite également de réadapter constamment sa vue à des changements de distance. Dispensé de ces deux actions, le conducteur gagne alors *environ une seconde d'attention ...*»

D'après la notice d'utilisation d'un afficheur tête haute du commerce

1.4.1. Quelle distance parcourt une voiture roulant à la vitesse de 120 km/h pendant la « seconde d'attention » perdue lors d'un aller-retour du regard ?

Aide aux calculs : $1,2 \times 3,6 = 4,3$; $\frac{1,2}{3,6} = 3,3 \times 10^{-1}$; $\frac{3,6}{1,2} = 3,0$

1.4.2. En déduire l'intérêt principal de l'affichage tête haute.

2. Principe de l'affichage tête haute

La technologie embarquée sur les automobiles actuelles fonctionne avec un dispositif optique situé derrière le tableau de bord qui projette des informations au-delà du pare-brise, le conducteur ayant l'illusion que ces dernières se trouvent à *l'extérieur de la voiture*, à environ 1 mètre par rapport au bas du pare-brise.

Principe de l'affichage tête haute, d'après un site Internet

2.1. L'ensemble du dispositif optique installé dans le tableau de bord est constitué :

- d'une source lumineuse à diodes affichant la valeur de la vitesse, considérée dans l'exercice comme l'objet lumineux AB ;
- d'une lentille mince convergente de distance focale f' .

Sur la **FIGURE 10 DE L'ANNEXE EN PAGE 12** schématisant le dispositif, on a représenté l'image A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille.

2.1.1. Sur la **FIGURE 10 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**, tracer la marche de deux rayons issus de B permettant de construire l'image B_1 .

2.1.2. Définir le grandissement γ de la lentille. Sa valeur algébrique est-elle positive ou négative ? Sa valeur absolue est-elle supérieure ou inférieure à 1 ?

2.2. Réflexion sur le pare-brise

L'image A_1B_1 de la partie précédente est ensuite réfléchi par le pare-brise. Pour simplifier le problème, on peut considérer que le pare-brise se comporte pour A_1B_1 comme un miroir plan, incliné de 45° par rapport à la verticale Oz (**figure 10**).

2.2.1. Quel rôle joue A_1B_1 pour le miroir plan ?

2.2.2. Sur la **FIGURE 10 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**, placer l'image $A'B'$ de A_1B_1 donnée par le miroir plan. Justifier.

2.3. On voudrait faire en sorte que les indications de l'affichage tête haute soient plus grandes. Sans faire de calcul, quelle solution proposeriez-vous ?

ANNEXE DE L'EXERCICE I

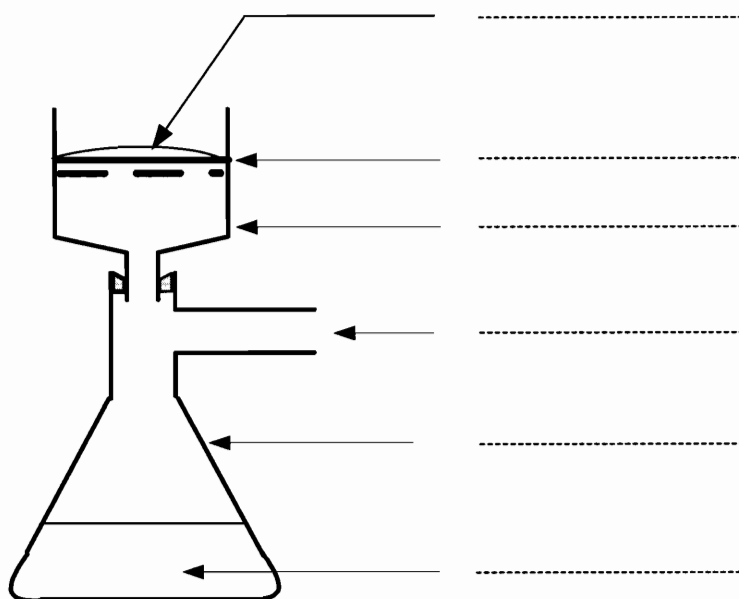


Figure 3. Schéma du montage de filtration sous vide

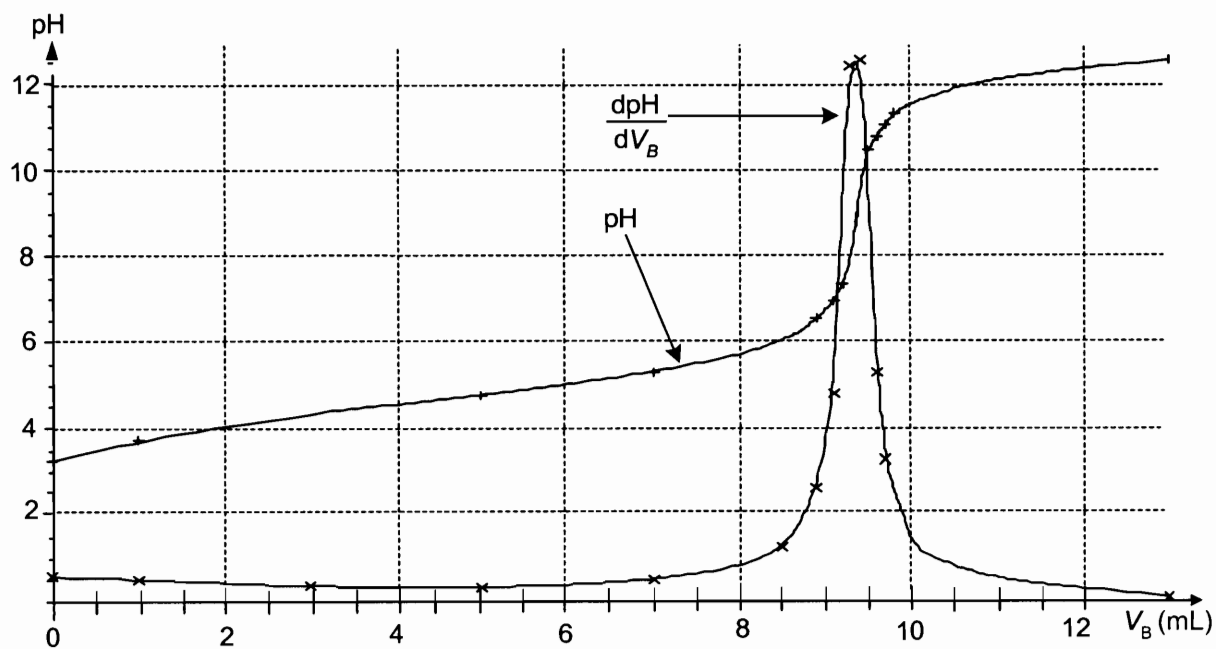


Figure 4. Évolution du pH de la solution et de sa dérivée au cours du dosage

ANNEXE DE L'EXERCICE III

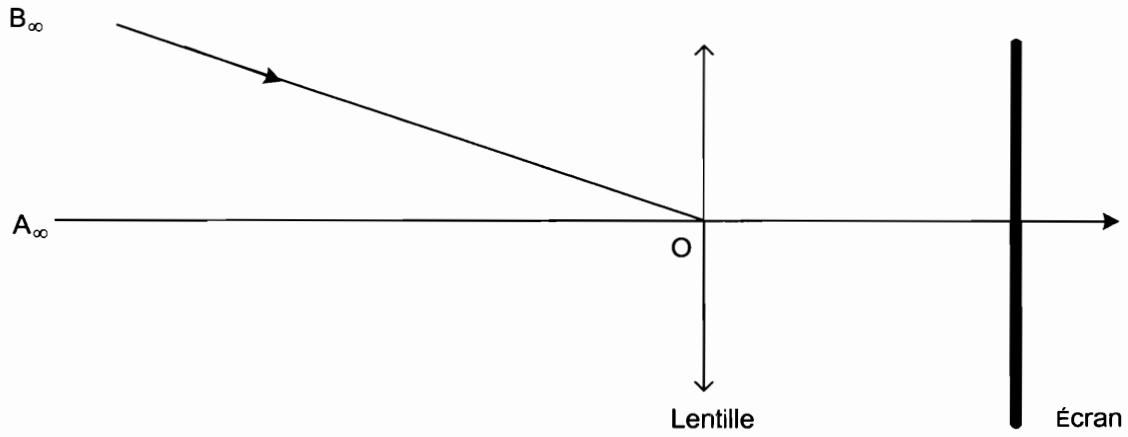


Figure 9. Schéma modélisant l'œil du conducteur

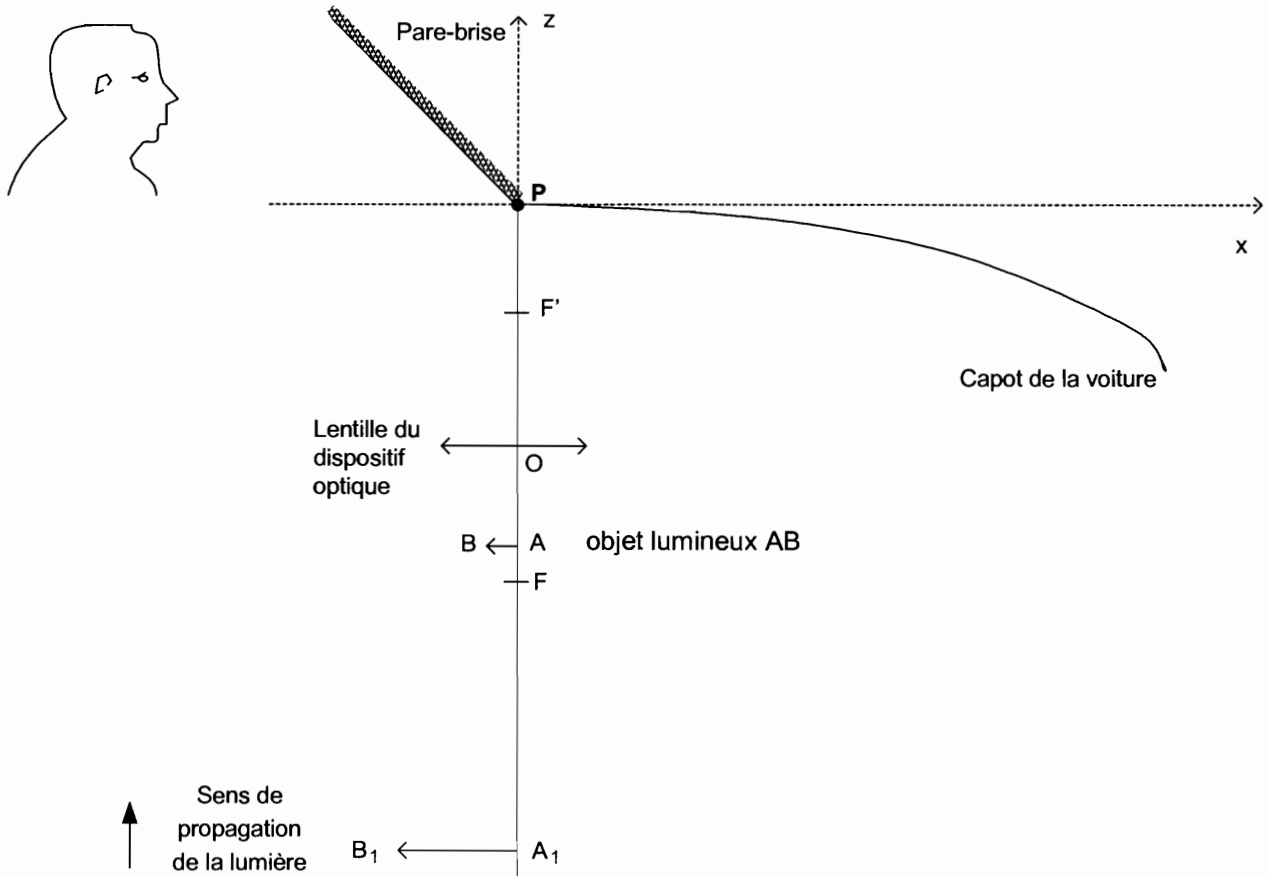


Figure 10. Schéma du dispositif d'affichage tête haute