Corrigé complet — Bac S 2010 Asie (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Les marégraphes cotiers numériques** Onde mécanique · Onde longitudinale · Célérité du son · Mesure de distance par écho · Lecture d'un enregistrement	4 pts	52 min	9 questions	p. 2
Ex 2	**Chute d'une goutte de pluie** Poussée d'Archimède · Deuxième loi de Newton · Chute verticale avec frottement · Méthode d'Euler · Vitesse limite · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 5
Ex 3	**De la chimie... de la chimie, vous dis-je !** Autoprotolyse de l'eau · Vitesse de réaction et estérification · Taux d'avancement final · Titrage pH-métrique · Électrolyse · Pile et quotient de réaction	6,5 pts	1 h 18	15 questions	p. 9
Ex 4	**Spécialité : Visibilité d'une nébuleuse annulaire** Lunette astronomique afocale · Foyers et plan focal · Image intermédiaire · Diamètre apparent · Grossissement · Cercle oculaire	4 pts	52 min	14 questions	p. 14

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Les marégraphes cotiers numériques

Bac S 2010 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Définir une onde mécanique.

Une onde mécanique est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, avec transport d'énergie mais sans transport de matière.

PIÈGE
Oublier « milieu matériel » ou « sans transport de matière » : ce sont les deux mots attendus. Une onde mécanique ne se propage pas dans le vide.

1.1.2 Que signifie l'expression « onde longitudinale » ?

L'onde est longitudinale si la perturbation du milieu se fait dans la même direction que celle de la propagation de l'onde.

COMPRENDRE
Pour le son, les tranches d'air sont comprimées puis dilatées le long de la direction de propagation. Une vague à la surface de l'eau est au contraire transversale.

1.2 Exprimer la durée Δt entre l'émission et la réception d'une salve en fonction de L et v.

La salve descend jusqu'à la surface de l'eau, s'y réfléchit puis remonte jusqu'au récepteur : elle parcourt la distance $2L$ à la célérité v.

$v = \dfrac{2L}{\Delta t}$, donc

$$\Delta t = \frac{2L}{v}$$

PIÈGE
Écrire $\Delta t = \dfrac{L}{v}$: l'émetteur et le récepteur sont au même endroit, le signal fait un aller-retour.

1.3 Établir l'expression de la hauteur H de la marée en fonction de D, v et Δt.

Données utiles $\Delta t = \dfrac{2L}{v}$ (1.2)

D'après le schéma, la distance D entre le télémètre et le zéro hydrographique vérifie $D = L + H$, soit $H = D - L$.

D'après 1.2 : $L = \dfrac{v\,\Delta t}{2}$, donc

$$H = D - \frac{v\,\Delta t}{2}$$

COMPRENDRE
Quand la mer monte, L diminue, l'écho revient plus tôt : Δt diminue et H augmente. La formule est cohérente avec ce sens de variation.

1.4 Calculer la durée Δt_1 qui a permis de calculer la hauteur d'eau à marée basse à 15h52.

Données utiles $D = 10$ m ; $H = 3{,}20$ m à 15h52 ; $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

D'après 1.3 : $\dfrac{v\,\Delta t_1}{2} = D - H$, donc $\Delta t_1 = \dfrac{2\,(D-H)}{v}$.

$$\Delta t_1 = \frac{2 \times (10 - 3{,}20)}{340} = \frac{2 \times 6{,}80}{340} = \frac{13{,}6}{340}$$

$$\Delta t_1 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s}$$

PIÈGE
Prendre H pour la distance parcourue par les ultrasons. Ils se propagent dans l'air, sur la longueur $L = D - H = 6{,}80$ m, à l'aller puis au retour.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($D = 10$ m). La valeur $\theta_1 = 14$ °C ne sert pas au calcul : elle prépare la question 1.5.

MÉTHODE
Sans calculatrice, simplifier avant de diviser : $6{,}80 = 2 \times 3{,}40$, donc $\dfrac{2 \times 2 \times 3{,}40}{340} = \dfrac{4}{100}$.

1.5.1 Quelle grandeur de l'expression établie en 1.3 est responsable de la différence de durée Δt entre Le Cap Ferret et Fort-Mahon ? Justifier.

Données utiles installations identiques (même D) ; même hauteur H ; $\Delta t_2 > \Delta t_1$

Dans $H = D - \dfrac{v\,\Delta t}{2}$, les grandeurs D et H ont les mêmes valeurs sur les deux sites : le produit $v\,\Delta t = 2\,(D - H)$ est donc le même.

Si Δt est différent, c'est que v est différente.

La grandeur responsable est la célérité v des ultrasons dans l'air.

1.5.2 Cette grandeur a-t-elle augmenté ou diminué ?

Données utiles $\Delta t_2 > \Delta t_1$; $\Delta t = \dfrac{2\,(D - H)}{v}$ (1.4)

La distance $2\,(D - H)$ est la même sur les deux sites, donc $v_1\,\Delta t_1 = v_2\,\Delta t_2$, soit $\dfrac{v_2}{v_1} = \dfrac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$.

Comme $\Delta t_2 > \Delta t_1$, ce rapport est inférieur à 1.

$v_2 < v_1$: la célérité est plus faible au Cap Ferret, elle a diminué.

MÉTHODE
À distance égale, durée et célérité sont inversement proportionnelles : un trajet plus long en durée signifie une onde plus lente.

1.5.3 Justifier la présence d'un capteur de température dans le marégraphe.

La célérité du son dans l'air dépend de la température de l'air. Pour convertir la durée Δt mesurée en hauteur H, la centrale doit utiliser la valeur de v correspondant à la température du moment.

Le capteur de température permet de connaître v au moment de la mesure, et donc de calculer correctement H.

COMPRENDRE
La célérité du son dans l'air augmente avec la température. Une durée plus longue pour la même hauteur indique donc un air plus froid que 14 °C au Cap Ferret.

2 Calculer la hauteur d'eau qu'Etienne a placée dans l'éprouvette.

Données utiles $D = 43$ cm ; $v = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; enregistrement de U_{em} et U_{re} ; $H = D - \dfrac{v\,\Delta t}{2}$ (1.3)

Sur l'enregistrement, une salve émise commence à $t = 6{,}0$ ms et l'écho correspondant commence à $t = 8{,}3$ ms : $\Delta t = 8{,}3 - 6{,}0 = 2{,}3\ \text{ms} = 2{,}3 \times 10^{-3}$ s.

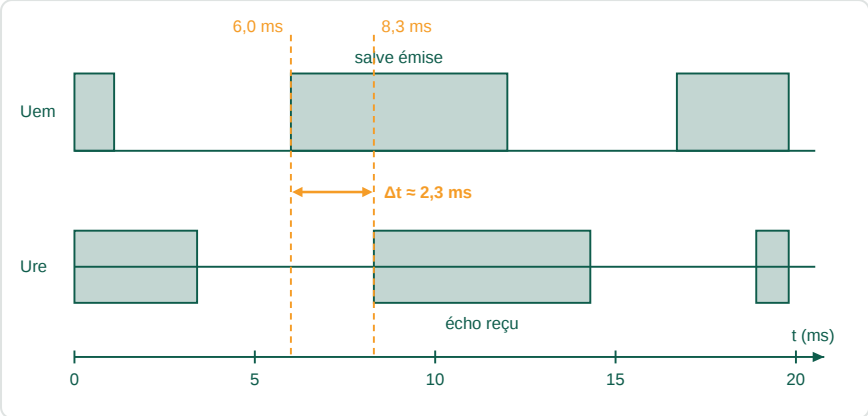
$$H = D - \frac{v\,\Delta t}{2} = 0{,}43 - \frac{340 \times 2{,}3 \times 10^{-3}}{2} = 0{,}43 - 0{,}391 = 0{,}039\ \text{m}$$

$H \approx 0{,}04$ m : Etienne a placé environ 4 cm d'eau dans l'éprouvette.

PIÈGE
Associer la salve émise à $t = 6{,}0$ ms au signal reçu entre 0 et 3,4 ms : celui-ci est l'écho de la salve précédente. Penser aussi à convertir D en mètres.

COMPRENDRE
H est la différence de deux longueurs proches (43 cm et 39 cm) : une lecture à 0,1 ms près change H de presque 2 cm. Le résultat se donne au centimètre.

MÉTHODE
Mesurer le décalage entre deux événements identiques : début de salve et début d'écho, ou fin et fin. Le calcul de tête : $340 \times 2{,}3 = 782$, puis $782 \times 10^{-3} \div 2 = 0{,}391$ m.



2 · Enregistrement schématisé : décalage entre le début de la salve émise et le début de l'écho

Chute d'une goutte de pluie

Bac S 2010 Asie (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Donner l'expression littérale de la valeur F_A de la poussée d'Archimède qui agit sur la goutte.

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'air dont la goutte prend la place :

$$F_A = \rho_2 \, V \, g$$

PIÈGE
Écrire ρ_1 à la place de ρ_2. La masse volumique qui intervient est celle du fluide déplacé (l'air), pas celle de l'objet immergé (l'eau).

1.1.2 Établir l'expression du rapport $\dfrac{P}{F_A}$ en fonction des masses volumiques ρ_1 et ρ_2.

Données utiles $F_A = \rho_2 \, V \, g$ (1.1)

Masse de la goutte : $m = \rho_1 \, V$, donc $P = m \, g = \rho_1 \, V \, g$.

$$\frac{P}{F_A} = \frac{\rho_1 \, V \, g}{\rho_2 \, V \, g}$$

$$\frac{P}{F_A} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

1.1.3 À l'aide des données numériques, montrer que F_A est négligeable devant P.

Données utiles $\rho_1 = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_2 = 1{,}3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\dfrac{1}{1{,}3} = 0{,}77$

$$\frac{P}{F_A} = \frac{1000}{1{,}3} = 1000 \times 0{,}77 = 7{,}7 \times 10^2$$

$P \approx 770 \, F_A$: la poussée d'Archimède est négligeable devant le poids.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ_2, la donnée la moins précise. Le rapport ne dépend ni de la taille de la goutte ni de g : seul compte le rapport des masses volumiques.

MÉTHODE
Sans calculatrice, repérer l'aide de calcul fournie : ici $\dfrac{1}{1{,}3}$ est donné, il reste à multiplier par 1000.

1.2.1 L'axe vertical étant orienté vers le bas, montrer que l'équation différentielle du mouvement s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t} = A \, v_G + B$ et exprimer A et B en fonction de K, m et g.

Système {goutte}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces : le poids $\vec{P} = m \, \vec{g}$, vertical vers le bas ; le frottement $\vec{f} = -K \, \vec{v}_G$, opposé à la vitesse (poussée d'Archimède négligée).

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{f} = m \, \vec{a}_G$.

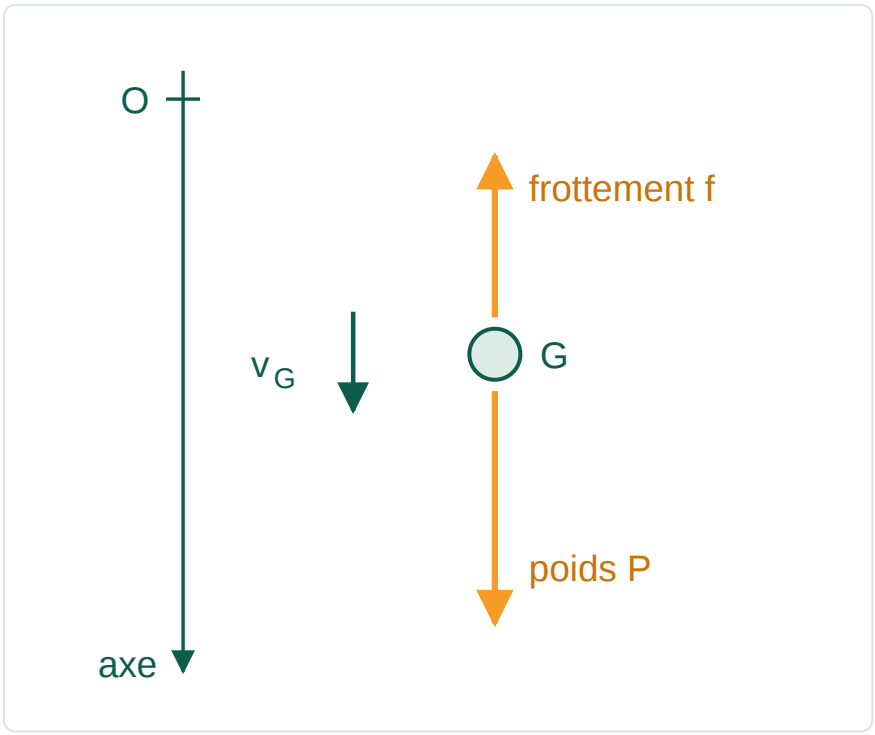
Projection sur l'axe vertical descendant, avec $a_G = \dfrac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t}$:

$$m \, g - K \, v_G = m \, \frac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t} \quad \text{soit} \quad \frac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t} = -\frac{K}{m} \, v_G + g$$

$$A = -\frac{K}{m} \text{ et } B = g$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » de A. L'axe pointe vers le bas : le poids se projette en $+mg$, le frottement, dirigé vers le haut, en $-K \, v_G$.

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton en vecteurs, puis projection sur l'axe imposé par le sujet.



1.2.1 · Forces sur la goutte pendant la chute (poussée d'Archimède négligée), axe orienté vers le bas

1.2.2 Donner les unités de A et de B dans le système international.

$B = g$ est une accélération : B s'exprime en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Dans une somme, tous les termes ont la même unité : $A\,v_G$ est aussi en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Comme v_G est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, A est en $\dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-2}}}{\mathrm{m \cdot s^{-1}}} = \mathrm{s^{-1}}$.

A en $\mathrm{s^{-1}}$; B en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$

COMPRENDRE
$-\dfrac{1}{A} = \dfrac{m}{K}$ est donc une durée : c'est le temps caractéristique de la chute, ici $\dfrac{1}{0{,}324} \approx 3$ s.

1.3.1 À l'aide de l'équation différentielle et du tableau, calculer la valeur de l'accélération à la date $t = 3{,}4$ s.

Données utiles $A = -3{,}24 \times 10^{-1}\ \mathrm{s^{-1}}$; $B = 10\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$; $v_G(3{,}4) = 21{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $3{,}24 \times 2{,}10 = 6{,}80$

$$a_G(3{,}4) = \frac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t}(3{,}4) = A\,v_G(3{,}4) + B$$

$$a_G(3{,}4) = -3{,}24 \times 10^{-1} \times 21{,}0 + 10 = -3{,}24 \times 2{,}10 + 10 = -6{,}80 + 10$$

$a_G(3{,}4) = 3{,}2\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

MÉTHODE
Faire apparaître l'aide de calcul : $3{,}24 \times 10^{-1} \times 21{,}0$ se réécrit $3{,}24 \times 2{,}10$, produit donné dans l'énoncé.

1.3.2 En déduire, par la méthode d'Euler, la valeur de la vitesse à la date $t = 3{,}6$ s.

Données utiles $v_G(3{,}4) = 21{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $a_G(3{,}4) = 3{,}2\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ (1.3.1)

Pas d'itération, lu dans le tableau : $\Delta t = 3{,}2 - 3{,}0 = 0{,}2$ s.

$$v_G(3{,}6) = v_G(3{,}4) + \frac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t}(3{,}4) \times \Delta t$$

$$v_G(3{,}6) = 21{,}0 + 3{,}2 \times 0{,}2 = 21{,}0 + 0{,}64$$

$v_G(3{,}6) = 21{,}6\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

PIÈGE
Le pas n'est pas donné : il se lit dans la colonne des dates. Le résultat s'arrondit au dixième, comme les autres vitesses du tableau.

1.3.3 Comment choisir le pas de calcul pour que les valeurs obtenues par la méthode d'Euler soient les plus proches possible des valeurs réelles ?

La méthode suppose l'accélération constante pendant chaque intervalle Δt, ce qui est d'autant moins faux que l'intervalle est court.

Il faut choisir le pas Δt le plus petit possible.

COMPRENDRE
En contrepartie, un pas plus petit demande davantage de lignes de calcul pour couvrir la même durée de chute.

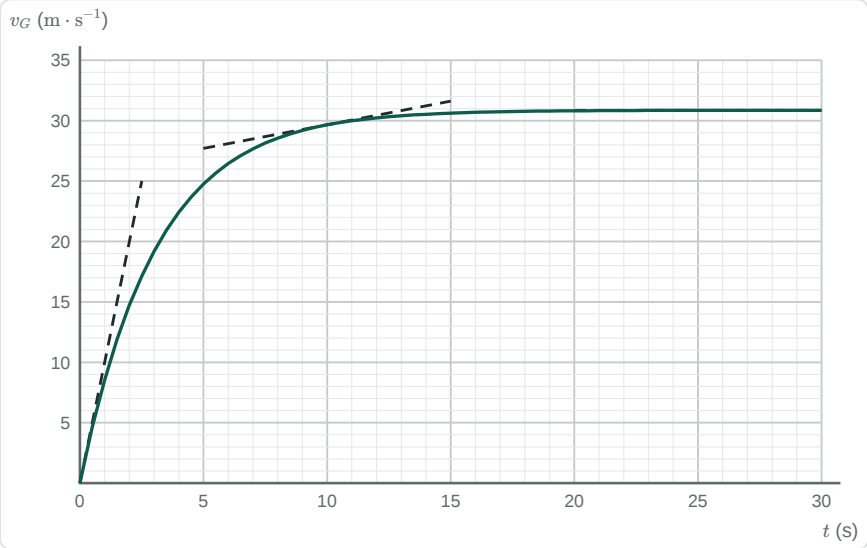
1.4.1 Comment évolue l'accélération de la goutte d'eau ? Justifier.

$a_G = \dfrac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t}$: à chaque date, l'accélération est le coefficient directeur de la tangente à la courbe $v_G(t)$.

Cette tangente est très inclinée à $t = 0$, puis de moins en moins, jusqu'à devenir horizontale.

L'accélération diminue au cours du temps, puis s'annule.

COMPRENDRE
La vitesse augmente alors que l'accélération diminue : ce n'est pas contradictoire. Tant que a_G est positive, la goutte gagne de la vitesse, mais de moins en moins vite.



1.4.1 · Courbe du sujet : la tangente (en tirets) est de moins en moins inclinée

1.4.2 Donner la valeur de l'accélération lorsque le régime permanent est atteint, puis comparer les valeurs des forces qui agissent alors sur la goutte.

En régime permanent, la vitesse est constante : $a_G = \dfrac{\mathrm{d}v_G}{\mathrm{d}t} = 0$.

La deuxième loi de Newton donne alors $\vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$: les deux forces sont opposées, elles se compensent.

$a_G = 0\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ et $f = P$: le frottement a la même valeur que le poids.

PIÈGE
Dire que « plus aucune force n'agit ». Les deux forces existent toujours ; c'est leur somme vectorielle qui est nulle, et le mouvement est rectiligne uniforme.

1.4.3 Établir l'expression littérale de la vitesse limite atteinte par la goutte d'eau.

En régime permanent, $v_G = v_{\lim}$ et $f = P$, soit $K\, v_{\lim} = m\, g$.

$$v_{\lim} = \frac{m\, g}{K}$$

COMPRENDRE
Même résultat avec l'équation différentielle : $0 = A\, v_{\lim} + B$ donne $v_{\lim} = -\dfrac{B}{A} = \dfrac{10}{0{,}324} \approx 31\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, en accord avec le palier de la courbe.

2.1 À partir de la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires du mouvement de la goutte dans le repère (Oxy), l'axe (Ox) étant horizontal dans le sens de $\vec{v}_2$ et l'axe (Oy) vertical descendant.

Système {goutte} ; référentiel terrestre supposé galiléen ; seule force : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}_G$, donc $\vec{a}_G = \vec{g}$, soit $a_x = 0$ et $a_y = g$ (axe (Oy) vers le bas).

On intègre une première fois, avec à $t = 0$: $v_x(0) = v_2$ et $v_y(0) = v$.

$$v_x = v_2 \qquad v_y = g\,t + v$$

On intègre une seconde fois, avec à $t = 0$: $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$.

$$x(t) = v_2\,t \text{ et } y(t) = \frac{1}{2}\,g\,t^2 + v\,t$$

PIÈGE
Écrire $a_y = -g$ par habitude. Ici l'axe (Oy) descend : $a_y = +g$, et la vitesse verticale initiale v est positive elle aussi.

MÉTHODE
Chaque intégration ajoute une constante, fixée par la condition initiale : le vecteur $\vec{v}_0$ pour la vitesse, la position de départ pour les coordonnées.

2.2 Donner l'équation de la trajectoire de la goutte dans le repère (Oxy) et préciser sa nature.

Données utiles $x(t) = v_2\,t$; $y(t) = \frac{1}{2}\,g\,t^2 + v\,t$ (2.1)

On élimine le temps : $t = \dfrac{x}{v_2}$, que l'on reporte dans $y(t)$.

$$y = \frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{v_2}\right)^2 + v\,\frac{x}{v_2}$$

$$y = \frac{g}{2\,v_2^2}\,x^2 + \frac{v}{v_2}\,x$$: la trajectoire est une portion de parabole.

COMPRENDRE
y est un polynôme du second degré en x. L'axe (Oy) étant descendant, la goutte s'incurve vers le bas tout en avançant dans le sens du vent.

De la chimie... de la chimie, vous dis-je !

Bac S 2010 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Choisir l'équation de la réaction d'autoprotolyse de l'eau (aucune justification demandée).

Réponse 1.1.2 : $\mathrm{H_2O + H_2O = H_3O^+ + HO^-}$

COMPRENDRE
Dans l'autoprotolyse, une molécule d'eau cède un ion $\mathrm{H^+}$ à une autre. La proposition 1.1.1 est la réaction inverse ; la 1.1.3 est une demi-équation électronique (présence d'électrons).

1.2 Donner le nom de la constante d'équilibre associée à l'autoprotolyse de l'eau (aucune justification demandée).

Réponse 1.2.3 : c'est le produit ionique de l'eau, $K_e = [\mathrm{H_3O^+}]_{éq} \times [\mathrm{HO^-}]_{éq}$.

1.3 Cette constante d'équilibre peut aussi s'interpréter comme la constante d'acidité d'un couple : lequel ?

La constante d'acidité d'un couple acide/base est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide du couple avec l'eau.

Pour le couple $\mathrm{H_2O \,/\, HO^-}$, l'acide est $\mathrm{H_2O}$:
$\mathrm{H_2O + H_2O = HO^- + H_3O^+}$.

C'est l'équation de l'autoprotolyse, donc $K_A = [\mathrm{HO^-}]_{éq} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{éq} = K_e$.

Réponse 1.3.1 : K_e est la constante d'acidité du couple $\mathrm{H_2O \,/\, HO^-}$.

PIÈGE
$\mathrm{H_3O^+ \,/\, HO^-}$ n'est pas un couple acide/base : les deux espèces ne diffèrent pas d'un seul $\mathrm{H^+}$. Pour le couple $\mathrm{H_3O^+ \,/\, H_2O}$, on trouve $K_A = 1$.

2.1 Caractériser la vitesse volumique de réaction (valeur à $t = 0$ s ou unité).

La vitesse volumique de réaction est $v = \dfrac{1}{V}\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, avec V le volume (constant) du mélange.

$\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ est le coefficient directeur de la tangente à la courbe $x(t)$. Sur les courbes 1 et 2, cette pente est la plus forte à l'origine, puis elle diminue jusqu'à s'annuler.

Réponse 2.1.2 : la vitesse volumique est maximale à $t = 0$ s.

PIÈGE
Confondre $x(0) = 0$ et $v(0) = 0$. L'unité proposée en 2.1.3 est fausse : en divisant par le volume, on obtient des $\mathrm{mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}}$.

COMPRENDRE
Les concentrations des réactifs sont un facteur cinétique : elles sont maximales au départ, donc la vitesse aussi.

2.2 Dire si la courbe 3 peut être obtenue, et dans quelles conditions.

Données utiles 0,6 mol d'acide carboxylique et 0,6 mol d'alcool ; courbe 3 : $x_{final} = 0{,}6$ mol

L'acide et l'alcool réagissent mole à mole : $x_{max} = 0{,}6$ mol.

La courbe 3 atteint $x_{final} = 0{,}6\ \mathrm{mol} = x_{max}$: elle décrit une transformation totale.

Or l'estérification est limitée par la réaction inverse (hydrolyse de l'ester) : avec ce mélange, $x_{final} < x_{max}$, comme le montrent les courbes 1 et 2 (palier vers 0,4 mol).

Une température plus élevée ou un catalyseur font atteindre l'état final plus vite, sans déplacer le palier.

Réponse 2.2.3 : la courbe 3 est impossible à obtenir ici.

COMPRENDRE
Température et catalyseur sont des facteurs cinétiques. Les courbes 1 et 2 l'illustrent : même palier, atteint plus ou moins vite.

MÉTHODE
Pour dépasser le palier, il faudrait intervenir sur le système : mettre un réactif en excès ou éliminer l'eau ou l'ester au fur et à mesure. L'énoncé l'exclut (« sans intervenir »).

2.3 Nommer l'ester de formule $\mathrm{HCOO{-}(CH_2)_2{-}CH_3}$ (aucune justification demandée).

Réponse 2.3.3 : le méthanoate de propyle.

MÉTHODE
Le nom d'un ester a deux parties. La chaîne qui contient le carbone du groupe $\mathrm{C{=}O}$ donne le terme en « -oate » (ici 1 carbone : méthanoate) ; la chaîne liée à l'oxygène donne le groupe alkyle (3 carbones : propyle).

3.1 Déterminer le taux d'avancement final de la transformation d'équation $2\,\mathrm{A} + \mathrm{B} = 2\,\mathrm{C} + 3\,\mathrm{D}$.

Données utiles état initial : $n_i(\mathrm{A}) = 0{,}40$ mol, $n_i(\mathrm{B}) = 0{,}30$ mol ; état final : $n_f(\mathrm{C}) = 0{,}10$ mol

Avancement maximal : si A est limitant, $0{,}40 - 2\,x_{max} = 0$ donne $x_{max} = 0{,}20$ mol ; si B est limitant, $0{,}30 - x_{max} = 0$ donne $x_{max} = 0{,}30$ mol.

On retient la plus petite valeur : A est le réactif limitant et $x_{max} = 0{,}20$ mol.

Avancement final : $n_f(\mathrm{C}) = 2\,x_{final} = 0{,}10$ mol, donc $x_{final} = 0{,}050$ mol.

$$\tau = \frac{x_{final}}{x_{max}} = \frac{0{,}050}{0{,}20} = 0{,}25$$

Réponse 3.1.1 : $\tau = 0{,}25$

PIÈGE
Oublier les nombres stœchiométriques : avec $x_{max} = 0{,}40$ mol ou $x_{final} = 0{,}10$ mol, on tombe sur une autre proposition ou sur une valeur absente.

COMPRENDRE
Vérification avec les autres colonnes : $0{,}40 - 2 \times 0{,}050 = 0{,}30$; $0{,}30 - 0{,}050 = 0{,}25$; $3 \times 0{,}050 = 0{,}15$. Le résultat garde deux chiffres significatifs, comme les données.

3.2 De quoi dépend la valeur de la constante d'équilibre K (aucune justification demandée) ?

Réponse 3.2.3 : K ne dépend que de la température.

COMPRENDRE
C'est le quotient de réaction initial $Q_{r,i}$ qui dépend de la composition initiale. La valeur atteinte à l'équilibre, $Q_{r,éq} = K$, est la même quel que soit le mélange de départ.

3.3 De quoi dépend le taux d'avancement final de la transformation (aucune justification demandée) ?

Réponse 3.3.1 : τ dépend de K et aussi de la composition initiale du système.

COMPRENDRE
Exemple : pour un acide faible dans l'eau, K_A est fixée, mais plus la solution est diluée, plus τ est grand.

4.1 Écrire l'équation de la réaction support du titrage de la solution d'acide AH par la solution d'hydroxyde de sodium.

La transformation de AH avec l'eau est quasi totale : $\mathrm{AH + H_2O \longrightarrow A^- + H_3O^+}$. La solution ne contient donc pratiquement plus de molécules AH, mais des ions $\mathrm{H_3O^+}$ et $\mathrm{A^-}$.

L'espèce titrée est l'acide $\mathrm{H_3O^+}$; l'espèce titrante est la base $\mathrm{HO^-}$ (l'ion $\mathrm{Na^+}$ est spectateur).

Réponse 4.1.2 : $\mathrm{H_3O^+ + HO^- = 2\,H_2O}$

PIÈGE
Choisir 4.1.1 par habitude : cette équation convient pour un acide faible, encore présent sous la forme AH dans la solution. La proposition 4.1.3 ne fait même pas intervenir $\mathrm{HO^-}$.

4.2 Choisir le ou les indicateurs colorés qui conviennent pour un suivi colorimétrique de ce titrage.

Données utiles zones de virage : bleu de bromophénol 3,0 − 4,6 ; bleu de bromothymol 6,0 − 7,6 ; rouge de crésol 7,2 − 8,8

Par la méthode des tangentes parallèles, le point d'équivalence a pour coordonnées $V_E = 50$ mL et $pH_E = 7{,}0$.

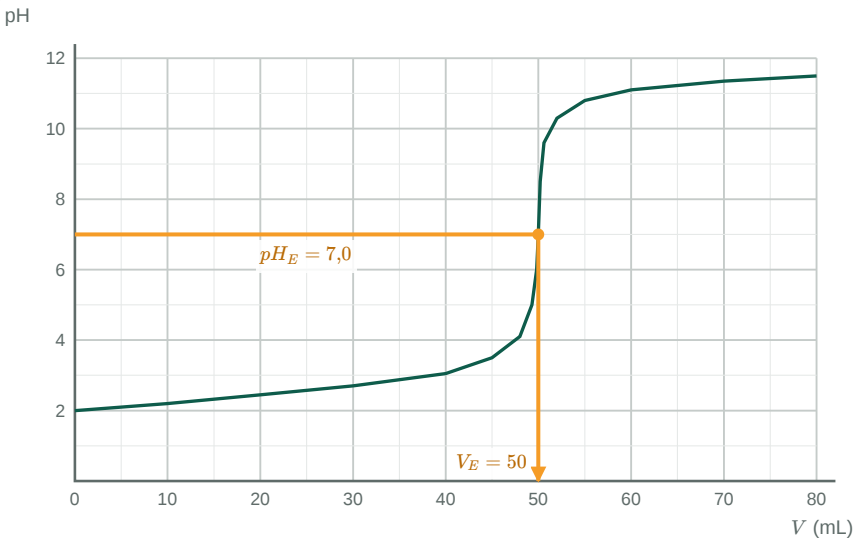
Un indicateur coloré convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

- bleu de bromophénol : 7,0 n'est pas entre 3,0 et 4,6 ;
- bleu de bromothymol : 7,0 est entre 6,0 et 7,6 ;
- rouge de crésol : 7,0 n'est pas entre 7,2 et 8,8.

Réponse 4.2.1 : seul le bleu de bromothymol convient.

COMPRENDRE
$pH_E = 7{,}0$ est cohérent avec 4.1 : à l'équivalence, il ne reste que de l'eau et des ions indifférents. Le bleu de bromophénol virerait bien trop tôt, entre 40 et 50 mL.

COMPRENDRE
Le virage du rouge de crésol se situe dans la partie verticale du saut : en pratique, l'erreur sur V_E serait très faible. Le critère attendu reste celui de la zone de virage contenant pH_E.



4.2 · Courbe du sujet : lecture du point d'équivalence

5.1 Dire ce que le montage (générateur de tension relié à deux lames de plomb plongeant dans une solution d'éthanoate de plomb) permet de réaliser.

Les deux lames sont identiques (plomb) et plongent dans la même solution : sans générateur, il n'y a aucune tension entre elles, donc aucun courant. Ce n'est pas une pile.

Ici, le générateur impose le sens du courant et apporte de l'énergie électrique : il force une transformation qui n'aurait pas lieu spontanément.

Réponse 5.1.2 : le montage réalise une électrolyse.

COMPRENDRE
Pile : transformation spontanée, le système chimique fournit l'énergie électrique. Électrolyse : transformation forcée, le système chimique reçoit l'énergie d'un générateur.

5.2 Choisir le schéma qui représente ce que l'on observe au bout de quelques minutes.

Hors du générateur, les électrons circulent de la borne $-$ vers la borne $+$.

Lame reliée à la borne $+$: elle cède des électrons au circuit, il s'y produit une oxydation (anode) : $\mathrm{Pb\,(s) = Pb^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$. Le plomb est consommé : la lame s'amincit.

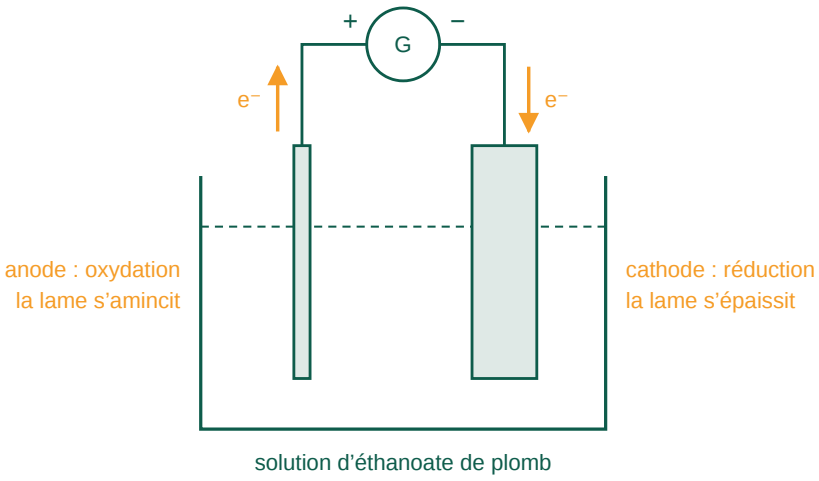
Lame reliée à la borne $-$: elle reçoit des électrons, il s'y produit une réduction (cathode) : $\mathrm{Pb^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Pb\,(s)}$. Du plomb se dépose : la lame s'épaissit.

Seul le couple $\mathrm{Pb^{2+}\,/\,Pb}$ intervient : il n'y a pas de dégagement gazeux.

Réponse 5.2.2 : la lame reliée à la borne $+$ s'amincit, celle reliée à la borne $-$ s'épaissit.

PIÈGE
Inverser les deux lames (schéma 5.2.1). Dans une électrolyse, l'anode est l'électrode reliée à la borne $+$ du générateur : l'oxydation y consomme le métal.

COMPRENDRE
Autant d'ions $\mathrm{Pb^{2+}}$ sont formés à l'anode que consommés à la cathode : la concentration de la solution ne change pas, le plomb est transporté d'une lame à l'autre.



5.2 · Électrolyse à anode soluble : sens des électrons et évolution des lames

6.1 Prévoir l'évolution de la pile plomb/fer (lame de plomb dans S1, lame de fer dans S2) après 30 minutes de fonctionnement.

Données utiles $[\mathrm{Pb^{2+}}]_i = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $[\mathrm{Fe^{2+}}]_i = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $K = 3{,}0 \times 10^{10}$ pour $\mathrm{Pb^{2+}\,(aq) + Fe\,(s) = Pb\,(s) + Fe^{2+}\,(aq)}$

Quotient de réaction initial (les solides n'y figurent pas) :

$$Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{Fe^{2+}}]_i}{[\mathrm{Pb^{2+}}]_i} = \frac{4{,}0 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 40$$

$Q_{r,i} < K$: le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation. Le fer métallique est consommé : $\mathrm{Fe\,(s) = Fe^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$.

Réponse 6.1.2 : la masse de la lame de fer a diminué.

COMPRENDRE
La proposition 6.1.3 est fausse : R fixe l'intensité du courant, donc la charge $Q = I \times \Delta t$ échangée en 30 minutes et les quantités de matière transformées.

COMPRENDRE
La lame de fer, où a lieu l'oxydation, est le pôle négatif de la pile. Sur la lame de plomb, les ions $\mathrm{Pb^{2+}}$ sont réduits : sa masse augmente.

6.2 Prévoir ce qui se passe quand on plonge une lame de plomb dans un mélange de 20 mL de S1 et de 20 mL de S2.

Données utiles $V_1 = V_2 = 20$ mL ; concentrations de S1 et S2 ; $K = 3{,}0 \times 10^{10}$

Les volumes mélangés sont égaux : chaque concentration est divisée par deux.

$[Pb^{2+}]_i = 5{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[Fe^{2+}]_i = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$Q_{r,i} = \frac{[Fe^{2+}]_i}{[Pb^{2+}]_i} = \frac{2{,}0 \times 10^{-2}}{5{,}0 \times 10^{-4}} = 40$$

$Q_{r,i} < K$: la seule évolution spontanée possible est le sens direct, $Pb^{2+} + Fe \longrightarrow Pb + Fe^{2+}$. Elle consomme du fer métallique, or le bécher n'en contient pas : elle ne peut pas se produire.

Le sens inverse (dépôt de fer sur le plomb) n'est pas spontané.

Réponse 6.2.1 : le système n'évoluera pas.

PIÈGE

Conclure « $Q_{r,i} < K$, donc sens direct, donc la masse de plomb augmente » (6.2.3). Le critère donne un sens possible ; encore faut-il que tous les réactifs de ce sens soient présents.

COMPRENDRE

Avec $K = 3{,}0 \times 10^{10}$, le fer réduit presque totalement les ions Pb^{2+}. Le plomb métallique, lui, est sans action sur les ions Fe^{2+}.

Spécialité : Visibilité d'une nébuleuse annulaire

Bac S 2010 Asie (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m. Montrer que cette lunette est afocale.

Données utiles $f'_1 = 6{,}80$ m ; $f'_2 = 4{,}0$ cm ; $O_1O_2 = 6{,}84$ m

La lunette est afocale si le foyer image F'_1 de l'objectif coïncide avec le foyer objet F_2 de l'oculaire, c'est-à-dire si $O_1O_2 = O_1F'_1 + F_2O_2 = f'_1 + f'_2$.

Avec $f'_2 = 4{,}0\ \text{cm} = 0{,}040\ \text{m}$:

$$f'_1 + f'_2 = 6{,}80 + 0{,}040 = 6{,}84\ \text{m}$$

$f'_1 + f'_2 = 6{,}84\ \text{m} = O_1O_2$: F'_1 et F_2 sont confondus, la lunette est afocale.

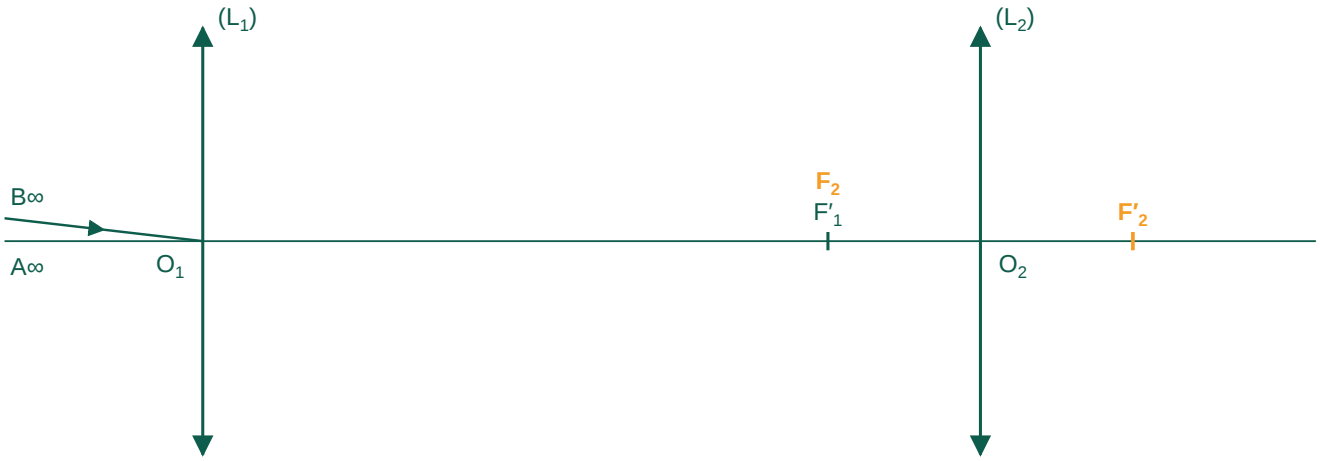
PIÈGE
Additionner 6,80 et 4,0 sans convertir : f'_1 est en mètres, f'_2 en centimètres.

1.2 Sur le schéma 1 de l'annexe, placer les foyers F_2 et F'_2 de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale.

Lunette afocale : le foyer objet F_2 de l'oculaire est placé sur F'_1.

Le foyer image F'_2 est le symétrique de F_2 par rapport au centre optique O_2 : $O_2F'_2 = F_2O_2$.

F_2 est confondu avec F'_1 ; F'_2 est de l'autre côté de (L_2), à la même distance de O_2 (voir schéma).



1.2 · Schéma 1 : foyers de l'oculaire (lunette afocale)

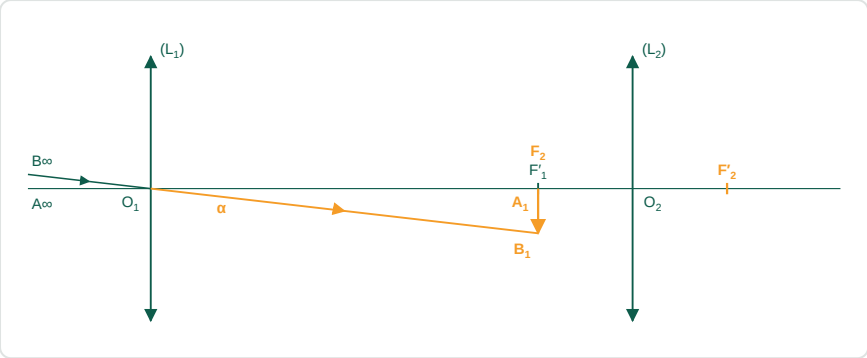
2.1 Construire, sur le schéma 1, l'image A_1B_1 de l'objet $A_\infty B_\infty$ donnée par l'objectif.

L'objet est à l'infini : son image se forme dans le plan focal image de l'objectif, donc A_1 est en F'_1.

Le rayon issu de B_∞ passe par le centre optique O_1 : il n'est pas dévié. On le prolonge jusqu'au plan perpendiculaire à l'axe passant par F'_1 : le point d'intersection est B_1.

A_1B_1 est dans le plan focal image de (L_1), avec A_1 en F'_1 et B_1 sous l'axe : image renversée (voir schéma).

MÉTHODE
Objet à l'infini : un seul rayon suffit, celui qui passe par le centre optique. L'image est là où il coupe le plan focal image.



2.1 · Schéma 1 : image intermédiaire A_1B_1 dans le plan focal image de l'objectif

2.2 Quelle est, en fonction de f_1' et A_1B_1, l'expression du diamètre apparent α de la nébuleuse ?

α est l'angle entre l'axe optique et le rayon venant de B_∞ ; on le retrouve en O_1 dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 :

$$\tan\alpha = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

L'angle est petit, donc $\tan\alpha \approx \alpha$ (en radians).

$$\alpha = \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

COMPRENDRE
A_1B_1 et f_1' doivent être dans la même unité ; l'angle obtenu est en radians.

3.1 L'oculaire donne une image définitive $A'B'$ de la nébuleuse. La lunette étant afocale, où sera située l'image $A'B'$? Justifier.

A_1B_1 joue le rôle d'objet pour l'oculaire. Comme F_1' et F_2 sont confondus, A_1B_1 se trouve dans le plan focal objet de (L_2).

Une lentille convergente donne d'un objet placé dans son plan focal objet une image à l'infini.

L'image définitive $A'B'$ est à l'infini.

COMPRENDRE
Une image à l'infini s'observe sans accommoder : l'œil reste au repos, ce qui rend l'observation prolongée confortable.

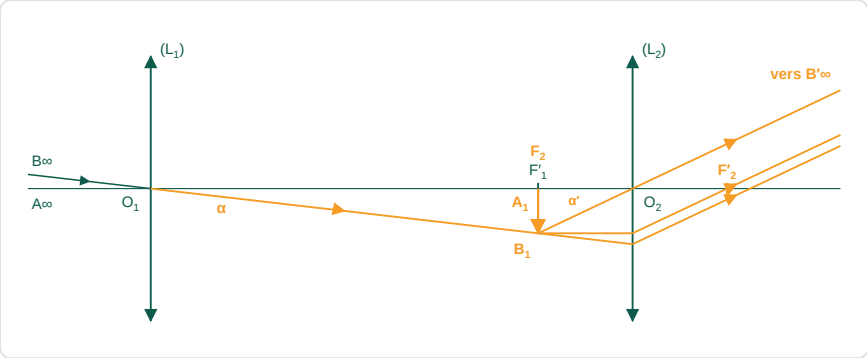
3.2 Construire, sur le schéma 1, la marche d'un rayon lumineux issu de B_1 permettant de trouver la direction de B'.

Le rayon issu de B_1 et passant par le centre optique O_2 traverse l'oculaire sans être dévié : il donne la direction de B'.

B_1 étant dans le plan focal objet de (L_2), tous les rayons issus de B_1 sortent de l'oculaire parallèles à cette direction. C'est le cas du rayon du sujet, prolongé au-delà de B_1, et du rayon parallèle à l'axe, qui sort en passant par F_2'.

B' est à l'infini dans la direction de la droite (B_1O_2) (voir schéma).

PIÈGE
Arrêter les rayons en B_1 : ils continuent jusqu'à l'oculaire. Vérifier aussi que les rayons émergents sont bien parallèles entre eux.



3.2 · Schéma 1 complété : les rayons issus de B_1 sortent de l'oculaire parallèles entre eux

4.1 Exprimer le diamètre apparent α' de l'image $A'B'$ vue à travers la lunette en fonction de f'_2 et A_1B_1.

α' est l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents, donc l'angle en O_2 du triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 :

$$\tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{A_1O_2} = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

L'angle est petit, donc $\tan\alpha' \approx \alpha'$.

$$\alpha' = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

4.2 Le grossissement est $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$. Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement G de la lunette, puis sa valeur numérique.

Données utiles $f'_1 = 6{,}80$ m ; $f'_2 = 4{,}0$ cm ; α (2.2) ; α' (4.1)

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

Avec les deux distances focales en mètres :

$$G = \frac{6{,}80}{4{,}0 \times 10^{-2}} = \frac{680}{4{,}0} = 170$$

$$G = \frac{f'_1}{f'_2} = 1{,}7 \times 10^2 \text{ (sans unité)}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme f'_2, la donnée la moins précise. Le résultat $1{,}7 \times 10^2$ l'indique sans ambiguïté, ce que « 170 » ne fait pas.

MÉTHODE
Sans calculatrice : multiplier numérateur et dénominateur par 100, puis diviser 680 par 4.

5.1 Sachant que l'œil voit comme un point tout objet de diamètre apparent inférieur à $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad, montrer qu'il peut théoriquement distinguer les points A_∞ et B_∞.

Données utiles $L \approx 2600$ a.l. ; $D = 1{,}3 \times 10^{13}$ km ; 1 a.l. $= 1{,}00 \times 10^{13}$ km

Depuis la Terre, la nébuleuse de diamètre D située à la distance L est vue sous l'angle α tel que $\tan\alpha = \frac{D}{L}$, soit, pour un petit angle, $\alpha = \frac{D}{L}$.

$$L = 2600 \times 1{,}00 \times 10^{13} = 2{,}6 \times 10^{16} \text{ km}$$

$$\alpha = \frac{1{,}3 \times 10^{13}}{2{,}6 \times 10^{16}} = 0{,}50 \times 10^{-3} = 5{,}0 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$\alpha = 5{,}0 \times 10^{-4}$ rad $> 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad : l'œil peut théoriquement distinguer A_∞ et B_∞.

PIÈGE
Diviser des kilomètres par des années de lumière. Il faut la même unité pour D et L avant de former le rapport.

5.2 En réalité, M57 n'est pas observable à l'œil nu, mais elle devient faiblement visible à travers la lunette. Proposer une explication. Quel est l'intérêt d'utiliser des lunettes (et des télescopes) dont l'objectif a un diamètre de plus en plus grand ?

La nébuleuse est assez étendue pour être vue, mais elle est très peu lumineuse : la pupille de l'œil, large de quelques millimètres seulement, ne reçoit pas assez de lumière venant d'elle.

L'objectif de la lunette, de diamètre 38 cm, collecte beaucoup plus de lumière et la concentre dans le faisceau qui entre dans l'œil : la nébuleuse devient visible, faiblement.

Plus le diamètre de l'objectif est grand, plus l'instrument recueille de lumière : les images sont plus lumineuses et des astres moins lumineux deviennent observables.

COMPRENDRE
La lumière collectée est proportionnelle à la surface de l'objectif, donc au carré de son diamètre. Un grand diamètre réduit aussi la diffraction, négligée dans cet exercice.

5.3 Calculer le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard.

Données utiles $G = 1{,}7 \times 10^{2}$ (4.2) ; $\alpha = 5{,}0 \times 10^{-4}$ rad (5.1)

Par définition du grossissement, $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$, donc $\alpha' = G \times \alpha$.

$$\alpha' = 1{,}7 \times 10^{2} \times 5{,}0 \times 10^{-4} = 8{,}5 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

$\alpha' = 8{,}5 \times 10^{-2}$ rad

COMPRENDRE
Cela correspond à environ 5° : à travers la lunette, la nébuleuse paraît près de dix fois plus large que la pleine Lune vue à l'œil nu (environ 0,5°).

6.1 On place l'œil derrière l'oculaire dans une zone appelée « cercle oculaire ». Définir le cercle oculaire.

Le cercle oculaire est l'image de l'objectif (de sa monture circulaire) donnée par l'oculaire.

6.2 Pourquoi est-il indiqué de placer l'œil à cet endroit ?

Tout rayon qui entre dans la lunette traverse l'objectif ; après l'oculaire, il passe donc par l'image de l'objectif, c'est-à-dire par le cercle oculaire.

C'est là que le faisceau émergent est le plus étroit : l'œil placé au cercle oculaire reçoit le maximum de la lumière collectée par l'objectif, l'image est la plus lumineuse possible.

6.3 Construire, sur le schéma 2 de l'annexe, le cercle oculaire.

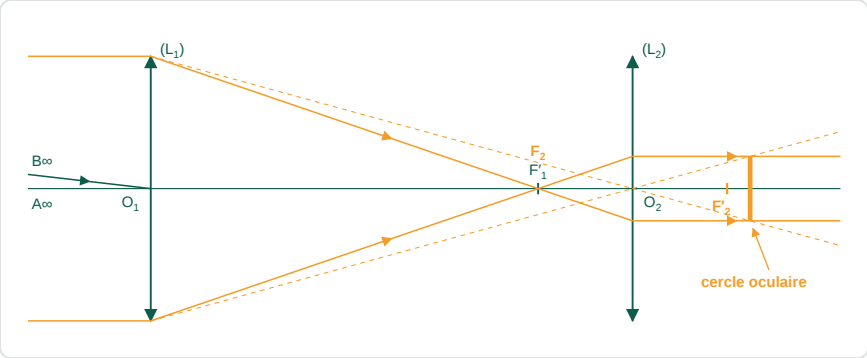
On construit l'image, par l'oculaire, de chaque bord de l'objectif à l'aide de deux rayons partant de ce bord :

- le rayon passant par F_2 (confondu avec F_1') sort de l'oculaire parallèle à l'axe optique ;
- le rayon passant par O_2 n'est pas dévié (en pointillés).

Leur intersection est l'image du bord. Le segment joignant les images des deux bords est le diamètre du cercle oculaire.

Le cercle oculaire est juste après F_2', perpendiculaire à l'axe ; il est beaucoup plus petit que l'objectif (voir schéma).

COMPRENDRE
L'objectif est loin de l'oculaire (bien au-delà de F_2) : son image est réelle, renversée, réduite et située un peu après F_2'.



6.3 · Schéma 2 complété : le cercle oculaire est l'image de l'objectif par l'oculaire