Corrigé complet — Bac S 2010 Amérique du Nord (ancien programme)

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

Ex 1	**La lumière, une onde électromagnétique** Longueur d'onde et fréquence · Indice de réfraction · Loi de Snell-Descartes · Dispersion par un prisme · Énergie d'un photon · Niveaux d'énergie de l'atome	4 pts	52 min	13 questions	p. 2
Ex 2	**L'EAU, ne la gaspillez pas** Couples acide-base et diagramme de prédominance · Quotient de réaction et constante d'équilibre · Titrage pH-métrique · Indicateur coloré · Hydrolyse d'un ester · Tableau d'avancement	6,5 pts	1 h 18	17 questions	p. 7
Ex 3	**Les systèmes électriques** Charge d'un condensateur · Constante de temps · Circuit RL · Analyse dimensionnelle · Oscillations libres amorties · Entretien des oscillations	5,5 pts	1 h 05	11 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Observation d'objets de petites dimensions** Lentilles minces convergentes · Construction d'une image · Relation de conjugaison · Microscope · Grossissement · Cercle oculaire	4 pts	52 min	13 questions	p. 18

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.

La lumière, une onde électromagnétique

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

1.1.1 Donner la définition de la longueur d'onde.

La longueur d'onde λ est la distance dont l'onde progresse pendant une période T.

λ : distance parcourue par l'onde en une période (période spatiale de l'onde).

COMPRENDRE
Définition équivalente : plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase. L'une ou l'autre suffit.

1.1.2 Préciser l'unité de λ, puis choisir la ou les relations correctes parmi (a) $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$, (b) $T = \dfrac{c}{\lambda}$ et (c) $\lambda = cT$.

λ est une longueur : elle s'exprime en mètre (m).

Analyse des unités, avec c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, T en s et ν en Hz, soit $\mathrm{s^{-1}}$:

- (a) $\dfrac{c}{\nu}$: $\dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}{\mathrm{s^{-1}}} = \mathrm{m}$, une longueur : correcte ;
- (b) $\dfrac{c}{\lambda}$: $\dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}{\mathrm{m}} = \mathrm{s^{-1}}$, ce n'est pas une durée : fausse ;
- (c) cT : $\mathrm{m \cdot s^{-1} \times s} = \mathrm{m}$, une longueur : correcte.

λ en mètre ; relations correctes : (a) et (c).

MÉTHODE
Pour trier des formules, remplacer chaque grandeur par son unité. Ici (a) et (c) disent la même chose puisque $\nu = \dfrac{1}{T}$.

1.2 Déterminer la fréquence, dans le vide, de la radiation émise par la lampe à vapeur de lithium.

Données utiles $\lambda = 571$ nm ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

D'après la relation (a) : $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$, avec $\lambda = 571 \times 10^{-9}$ m.

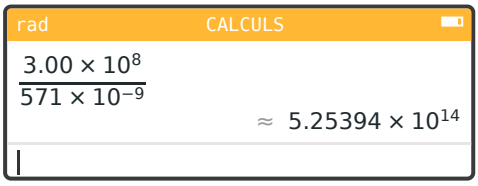
$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^8}{571 \times 10^{-9}} = 5{,}25 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

$\nu = 5{,}25 \times 10^{14}$ Hz

PIÈGE
Laisser λ en nanomètre : la conversion en mètre est indispensable.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme pour c et λ.

À LA CALCULATRICE



1.3 Dans un milieu transparent d'indice n, un élève affirme : « la fréquence est inchangée et la longueur d'onde maintenant égale à 380 nm ». Ces affirmations sont-elles justes ou erronées ? Justifier.

Données utiles $n = 1{,}5$; $n = \frac{c}{v}$; $\lambda = 571$ nm dans le vide

La fréquence est imposée par la source : elle ne dépend pas du milieu traversé. La première affirmation est juste.

Dans le milieu, l'onde se propage à la célérité $v = \frac{c}{n}$. Sa longueur d'onde est alors

$$\lambda_n = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n} = \frac{571}{1{,}5} = 381 \text{ nm}$$

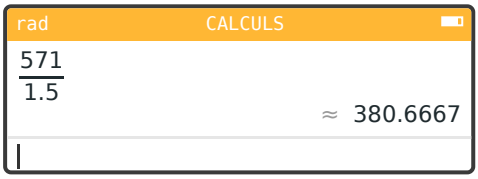
Comme n n'est donné qu'avec deux chiffres significatifs, $\lambda_n \approx 3{,}8 \times 10^2$ nm : la valeur de 380 nm annoncée par l'élève est acceptable.

Les deux affirmations sont justes : ν inchangée et $\lambda_n = \frac{\lambda}{n} \approx 3{,}8 \times 10^2$ nm.

PIÈGE
Répondre sans calcul. « Justifier » exige la relation $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$ et la valeur numérique comparée à 380 nm.

COMPRENDRE
En entrant dans le verre, la lumière ralentit : la longueur d'onde diminue dans le même rapport que la célérité. La couleur, liée à la fréquence, ne change pas.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Qu'appelle-t-on une lumière polychromatique ?

Une lumière polychromatique est constituée de plusieurs radiations, de fréquences (donc de longueurs d'onde dans le vide) différentes.

COMPRENDRE
À l'inverse, une lumière monochromatique ne contient qu'une seule radiation, caractérisée par une fréquence unique.

2.1.2 À quelles couleurs sont associées les longueurs d'onde correspondant aux limites du domaine visible ?

Le domaine visible s'étend, dans le vide, d'environ 400 nm à 800 nm.

400 nm : violet ; 800 nm : rouge.

COMPRENDRE
En dessous de 400 nm commence l'ultraviolet, au-dessus de 800 nm l'infrarouge.

2.1.3 À l'aide du graphique, déterminer les indices du prisme en verre pour ces longueurs d'onde limites.

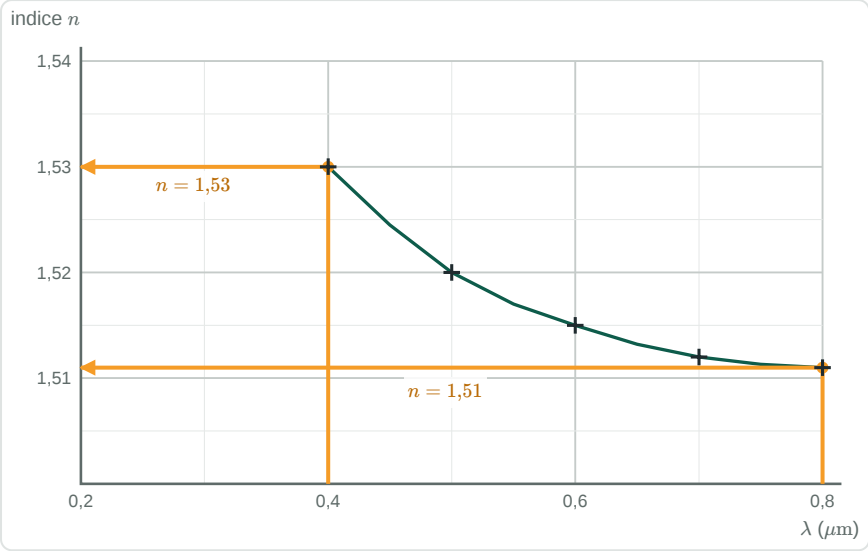
Données utiles limites du visible (2.1.2) : $0{,}4\ \mu$m et $0{,}8\ \mu$m

Sur le graphique, la longueur d'onde est en micromètre : $400 \text{ nm} = 0{,}4\ \mu\text{m}$ et $800 \text{ nm} = 0{,}8\ \mu\text{m}$.

On lit l'ordonnée des deux points extrêmes de la courbe.

Violet ($0{,}4\ \mu$m) : $n = 1{,}53$; rouge ($0{,}8\ \mu$m) : $n = 1{,}51$.

COMPRENDRE
L'indice diminue quand la longueur d'onde augmente : le verre est un milieu dispersif. C'est ce qui permet au prisme de séparer les radiations.



2.1.3 · Indice du verre en fonction de la longueur d'onde, avec les deux lectures

2.2.1.1 Déterminer l'angle de réfraction dans le prisme pour la radiation de longueur d'onde 440 nm, puis tracer approximativement le rayon réfracté sur la figure 1 de l'annexe.

Données utiles $i_1 = 45^\circ$; $n_1 = 1$; $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$; graphique : $n_2 \approx 1{,}53$ pour $0{,}44\ \mu$m

Pour $\lambda = 0{,}44\ \mu$m, le graphique donne un indice compris entre 1,52 et 1,53 : on retient $n_2 \approx 1{,}53$.

Loi de la réfraction en I : $\sin(i_2) = \dfrac{n_1 \sin(i_1)}{n_2}$

$$\sin(i_2) = \frac{1 \times \sin(45^\circ)}{1{,}53} = 0{,}462 \quad \text{donc} \quad i_2 = \arcsin(0{,}462) = 28^\circ$$

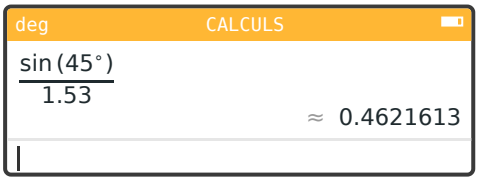
Tracé : le rayon réfracté part de I et fait un angle de 28° avec la normale, de l'autre côté de la face AB. Il se rapproche de la normale (voir la figure de la question 2.2.1.2).

$i_2 \approx 28^\circ$

PIÈGE
Calculatrice en radians, ou angle mesuré depuis la face du prisme. Les angles i_1 et i_2 se mesurent toujours par rapport à la normale.

COMPRENDRE
Avec $n_2 = 1{,}52$ on trouve 27,7° et avec 1,53 on trouve 27,5° : la lecture du graphique ne change pas le résultat arrondi à 28°.

À LA CALCULATRICE



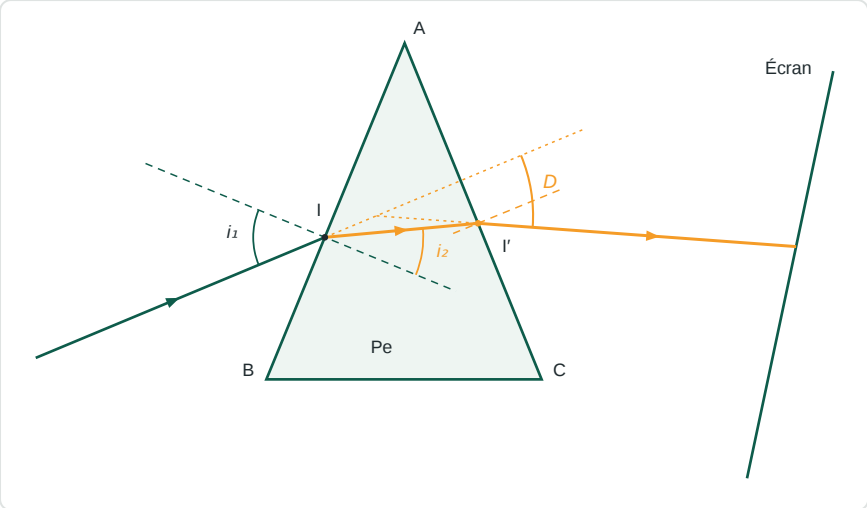
2.2.1.2 Compléter la marche du rayon lumineux après la réfraction en I′ sur la face AC, sur la figure 1 de l'annexe, et noter l'angle de déviation D.

Tracé qualitatif, aucun calcul n'est demandé :

- le rayon réfracté en I rencontre la face AC en I′ ; on y trace la normale à AC ;
- en I′, la lumière passe du verre à l'air, milieu moins réfringent : le rayon émergent s'écarte de la normale et se rabat vers la base BC ;
- on prolonge en pointillés le rayon incident en I : D est l'angle entre ce prolongement et le rayon émergent.

Voir la figure complétée : rayon émergent en I′ dévié vers la base, angle D entre la direction incidente et la direction émergente.

PIÈGE
Tracer le rayon émergent dans le prolongement du rayon intérieur, ou le relever vers le sommet A. Un prisme dévie toujours la lumière vers sa base.



2.2.1.2 · Figure 1 de l'annexe complétée : en orange, la marche du rayon et l'angle de déviation D

2.3 On enlève le filtre et on place un écran après le prisme. Que visualise-t-on sur l'écran lorsque le prisme reçoit toute la lumière de la lampe à vapeur de mercure ? Justifier.

Données utiles radiations intenses : 440 nm, 550 nm et 580 nm

L'indice du verre dépend de la longueur d'onde. D'après la loi de la réfraction, chaque radiation est donc réfractée, puis déviée, d'un angle D qui lui est propre : le prisme sépare les radiations.

La lumière ne contient que trois radiations intenses.

On observe sur l'écran trois raies colorées distinctes (violette, verte et jaune) : un spectre de raies.

COMPRENDRE
L'indice est le plus grand pour 440 nm : la raie violette est la plus déviée, donc la plus proche de la base. Les raies à 550 nm et 580 nm, d'indices voisins, sont proches l'une de l'autre.

3.1.1 Exprimer le quantum d'énergie associé à l'émission de la radiation de longueur d'onde $\lambda = 440$ nm.

L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de la radiation : $E = h\,\nu$, avec $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$.

$$E = h\,\nu = \frac{h\,c}{\lambda}$$

COMPRENDRE
« Quantum » : la lumière échange l'énergie par paquets indivisibles, les photons. Plus la longueur d'onde est courte, plus chaque photon est énergétique.

3.1.2 Calculer en joule, puis en électronvolt, l'énergie des photons associés.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $\lambda = 440$ nm ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

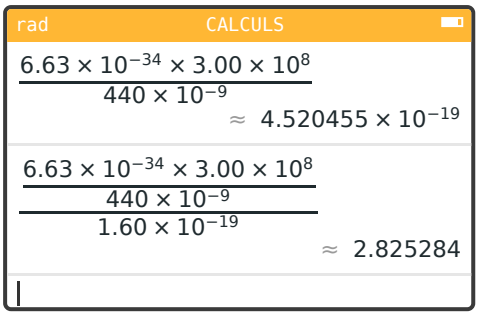
$$E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{440 \times 10^{-9}} = 4{,}52 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

Conversion : $E = \dfrac{4{,}52 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}83\ \text{eV}$ (valeur non arrondie de E conservée dans la calculatrice).

$$E = 4{,}52 \times 10^{-19}\ \text{J} = 2{,}83\ \text{eV}$$

PIÈGE
Multiplier par $1{,}60 \times 10^{-19}$ au lieu de diviser. Contrôle : un photon visible a une énergie de 1,5 à 3 eV environ.

À LA CALCULATRICE



3.2 Comment interprète-t-on l'émission de photons par les atomes ?

Un atome ne possède que des niveaux d'énergie bien définis : son énergie est quantifiée.

Un atome excité qui passe d'un niveau d'énergie E_p à un niveau inférieur E_n cède l'énergie perdue en émettant un photon.

Transition d'un niveau E_p vers un niveau inférieur E_n : émission d'un photon d'énergie $h\,\nu = E_p - E_n$.

COMPRENDRE

Chaque écart entre deux niveaux donne une fréquence précise : le spectre d'émission est un spectre de raies, propre à l'élément. C'est ce qu'on observe à la question 2.3.

L'EAU, ne la gaspillez pas

Bac S 2010 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Écrire les demi-équations acido-basiques associées à l'ion hydrogénocarbonate.

Données utiles couples $(CO_2, H_2O)/HCO_3^-$ et HCO_3^-/CO_3^{2-}

L'ion hydrogénocarbonate appartient à deux couples : il est la base du premier et l'acide du second.

Couple $(CO_2, H_2O)/HCO_3^-$: $(CO_2, H_2O)(aq) = HCO_3^-(aq) + H^+$

Couple HCO_3^-/CO_3^{2-} : $HCO_3^-(aq) = CO_3^{2-}(aq) + H^+$

$(CO_2, H_2O) = HCO_3^- + H^+$ et $HCO_3^- = CO_3^{2-} + H^+$

PIÈGE
Oublier une charge : chaque demi-équation doit conserver les éléments et la charge électrique. À vérifier des deux côtés du signe égal.

COMPRENDRE
Une espèce qui peut céder un ion H^+ dans un couple et en capter un dans un autre est une espèce amphotère (un ampholyte).

1.1.2 Sur un axe gradué en pH, placer les pK_A et préciser les domaines de prédominance des espèces des deux couples.

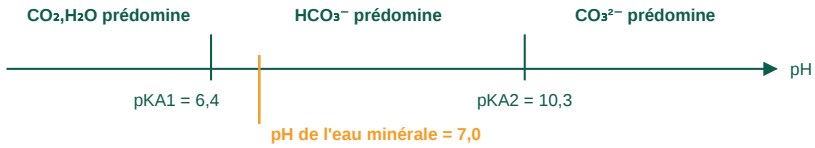
Données utiles $pK_{A1} = 6{,}4$; $pK_{A2} = 10{,}3$

Pour un couple acide/base, l'acide prédomine si $pH < pK_A$ et la base prédomine si $pH > pK_A$.

- $pH < 6{,}4$: (CO_2, H_2O) prédomine ;
- $6{,}4 < pH < 10{,}3$: HCO_3^- prédomine ;
- $pH > 10{,}3$: CO_3^{2-} prédomine.

Trois domaines séparés par $pK_{A1} = 6{,}4$ et $pK_{A2} = 10{,}3$ (voir le diagramme).

MÉTHODE
La relation $pH = pK_A + \log \dfrac{[base]}{[acide]}$ justifie le diagramme : si $pH > pK_A$, le logarithme est positif, donc $[base] > [acide]$.



1.1.2 · Diagramme de prédominance (en orange, le pH de l'eau minérale, utile à la question 1.1.3)

1.1.3 Justifier que l'ion hydrogénocarbonate est l'espèce prédominante dans cette eau minérale.

Données utiles $pH = 7{,}0$ (étiquette)

Le pH de l'eau minérale vaut 7,0 : il est compris entre $pK_{A1} = 6{,}4$ et $pK_{A2} = 10{,}3$.

$6{,}4 < 7{,}0 < 10{,}3$: le pH est dans le domaine de prédominance de HCO_3^-.

COMPRENDRE
Prédominante ne veut pas dire seule : à $pH = 7{,}0$, proche de pK_{A1}, il reste du dioxyde de carbone dissous en quantité non négligeable.

1.2.1.1 Exprimer le quotient de réaction Q_r associé à la réaction (1).

Données utiles (1) : $HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) = (CO_2, H_2O)(aq) + H_2O(l)$

L'eau est le solvant : elle n'apparaît pas dans le quotient de réaction.

$$Q_r = \frac{[CO_2, H_2O]}{[HCO_3^-]\,[H_3O^+]}$$

PIÈGE
Faire figurer $[H_2O]$ au numérateur. Seules les espèces dissoutes interviennent, par leur concentration en $mol \cdot L^{-1}$.

1.2.1.2 Montrer qu'à l'équilibre $Q_{r,\text{éq}} = K = 2{,}5 \times 10^6$. Cette valeur dépend-elle de la composition initiale du système ?

Données utiles $\text{p}K_{A1} = 6{,}4$

La constante d'acidité du couple $(CO_2, H_2O)/HCO_3^-$ est associée à la réaction de l'acide sur l'eau, qui est la réaction inverse de (1) :

$$K_{A1} = \frac{[HCO_3^-]_{\text{éq}}\,[H_3O^+]_{\text{éq}}}{[CO_2, H_2O]_{\text{éq}}}$$

Donc $K = Q_{r,\text{éq}} = \dfrac{[CO_2, H_2O]_{\text{éq}}}{[HCO_3^-]_{\text{éq}}\,[H_3O^+]_{\text{éq}}} = \dfrac{1}{K_{A1}} = 10^{\text{p}K_{A1}}$

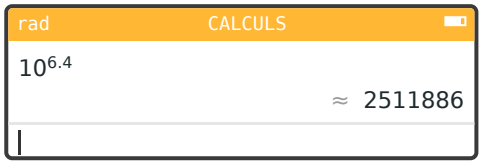
$K = 10^{6{,}4} = 2{,}5 \times 10^6$

Pour une réaction donnée, la valeur de K est fixée par la seule température : elle est la même quelle que soit la composition initiale du système.

$K = 10^{6{,}4} = 2{,}5 \times 10^6$, valeur attendue ; elle est indépendante de la composition initiale.

MÉTHODE
La constante d'une réaction écrite en sens inverse est l'inverse de la constante de départ. Avec $K_A = 10^{-\text{p}K_A}$, on obtient directement $1/K_A = 10^{\text{p}K_A}$.

À LA CALCULATRICE



1.2.1.3 Préciser, sans calcul, la valeur que doit avoir le taux d'avancement à l'équilibre pour que la réaction (1) serve au dosage. Justifier.

Données utiles $K = 2{,}5 \times 10^6$ (1.2.1.2)

Une réaction support de dosage doit être totale (et rapide) : tout l'acide versé avant l'équivalence doit être consommé par les ions hydrogénocarbonate. L'avancement final doit donc être égal à l'avancement maximal.

Le taux d'avancement à l'équilibre doit valoir $\tau = \dfrac{x_f}{x_{\max}} = 1.$

COMPRENDRE
La valeur élevée de K (bien supérieure à 10^4) est cohérente avec une transformation quasi totale.

1.2.2.1 En s'appuyant sur l'équation (1), définir l'équivalence lors du dosage des ions hydrogénocarbonate.

À l'équivalence, les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de la réaction (1) : ils sont tous deux entièrement consommés. Les nombres stœchiométriques valant 1 et 1 :

$n(H_3O^+)_{\text{versé à l'équivalence}} = n(HCO_3^-)_{\text{initial}}$

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, le réactif limitant est l'ion H_3O^+ versé ; après, c'est l'ion HCO_3^-. L'équivalence est le changement de réactif limitant.

1.2.2.2 Déterminer les coordonnées du point d'équivalence.

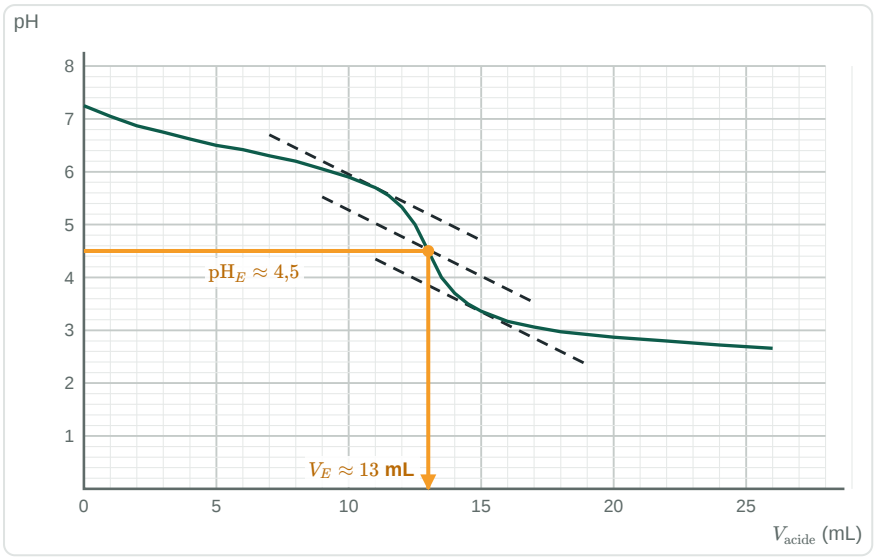
Données utiles courbe $\text{pH} = f(V_{\text{acide}})$ de l'annexe

On applique la méthode des tangentes parallèles : on trace deux tangentes parallèles à la courbe, de part et d'autre du saut de pH, puis la droite parallèle située à égale distance des deux. Elle coupe la courbe au point d'équivalence E.

$V_E \approx 13\ \text{mL}$ et $\text{pH}_E \approx 4{,}5$

PIÈGE
Lire le volume au début ou à la fin du saut. Le point E est au milieu du saut, là où la pente de la courbe est la plus forte.

COMPRENDRE
Le pH à l'équivalence est acide : la solution contient alors l'acide faible (CO_2, H_2O) formé par la réaction.



1.2.2.2 · Courbe de l'annexe : méthode des tangentes parallèles (en tirets) et lecture du point d'équivalence

1.2.2.3 Calculer la concentration en ions hydrogénocarbonate de cette eau minérale et la comparer à l'indication de l'étiquette.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_1 = 20\ \text{mL}$; $V_E = 13\ \text{mL}$ (1.2.2.2) ; $M(HCO_3^-) = 61\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; étiquette : $403\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

À l'équivalence : $n(HCO_3^-)_{\text{initial}} = n(H_3O^+)_{\text{versé}}$, soit $[HCO_3^-]\,V_1 = C\,V_E$.

$$[HCO_3^-] = \frac{C\,V_E}{V_1} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2} \times 13}{20} = 6{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Concentration massique : $t = [HCO_3^-] \times M = 6{,}5 \times 10^{-3} \times 61 = 0{,}40\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, soit environ $4{,}0 \times 10^{2}\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

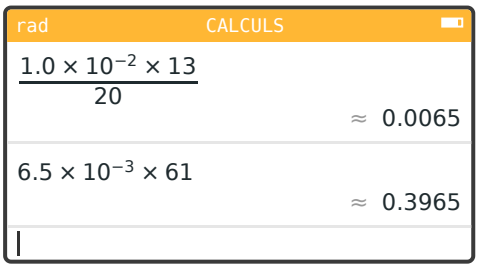
L'étiquette indique $403\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$: l'écart est inférieur à 2 %, de l'ordre de la précision du dosage.

$[HCO_3^-] = 6{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, soit $t \approx 0{,}40\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: résultat en accord avec l'étiquette.

PIÈGE
Comparer $6{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à $403\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ sans convertir. L'étiquette donne une concentration massique : il faut multiplier par la masse molaire.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C, V_1 et V_E. Les volumes peuvent rester en mL dans le rapport V_E/V_1 : les unités se simplifient.

À LA CALCULATRICE



1.2.2.4 Le dosage peut-il être réalisé par colorimétrie avec un indicateur coloré ? Justifier et choisir l'indicateur le plus approprié.

Données utiles $\mathrm{pH}_E \approx 4{,}5$ (1.2.2.2) ; vert de bromocrésol : 3,8 – 5,4 ; bleu de bromothymol : 6,0 – 7,6 ; phénolphtaléine : 8,2 – 10,0

Oui : les espèces mises en jeu sont incolores et la courbe présente un saut de pH net à l'équivalence, ce qui permet un changement de teinte repérable.

L'indicateur convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence. Seule la zone 3,8 – 5,4 contient $\mathrm{pH}_E \approx 4{,}5$.

Indicateur adapté : le vert de bromocrésol (virage du bleu au jaune à l'équivalence).

COMPRENDRE
Le pH diminue pendant le dosage : la solution passe de la teinte basique (bleu) à la teinte acide (jaune). Le bleu de bromothymol virerait dès le début, bien avant l'équivalence.

2.1 Écrire les formules semi-développées de l'acide éthanoïque et du 3-méthylbutan-1-ol.

Acide éthanoïque (deux atomes de carbone, groupe carboxyle) :
$\mathrm{CH_3{-}COOH}$

3-méthylbutan-1-ol (chaîne de quatre carbones, groupe hydroxyle sur le carbone 1, groupe méthyle sur le carbone 3) :
$\mathrm{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH_3}$

$\mathrm{CH_3{-}COOH}$ et $\mathrm{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH_3}$

MÉTHODE
On retrouve les réactifs en coupant l'ester au niveau de la liaison $\mathrm{C{-}O}$ simple : le côté $\mathrm{CH_3{-}CO^-}$ vient de l'acide, le côté $\mathrm{{-}O{-}CH_2^-}$ … vient de l'alcool.

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction d'hydrolyse de l'acétate d'isoamyle.

L'hydrolyse de l'ester redonne l'acide carboxylique et l'alcool dont il est issu :

$$\mathrm{CH_3{-}COO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH_3 + H_2O}$$
$$= \mathrm{CH_3{-}COOH + HO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH_3}$$

En formules brutes : $\mathrm{C_7H_{14}O_2 + H_2O = C_2H_4O_2 + C_5H_{12}O}$

COMPRENDRE
Le signe « = » rappelle que la transformation est limitée : l'estérification, réaction inverse, se produit en même temps.

2.2.2 Calculer les quantités initiales d'ester et d'eau introduites.

Données utiles $m(\text{ester}) = 6{,}5\ \text{g}$; $m(\text{eau}) = 0{,}90\ \text{g}$; $M(\mathrm{H}) = 1$, $M(\mathrm{C}) = 12$, $M(\mathrm{O}) = 16\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Ester $\mathrm{C_7H_{14}O_2}$: $M = 7\times 12 + 14\times 1 + 2\times 16 = 130\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$n_i(\text{ester}) = \frac{m(\text{ester})}{M(\text{ester})} = \frac{6{,}5}{130} = 5{,}0\times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Eau : $M = 2\times 1 + 16 = 18\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$n_i(\text{eau}) = \frac{m(\text{eau})}{M(\text{eau})} = \frac{0{,}90}{18} = 5{,}0\times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$n_i(\text{ester}) = n_i(\text{eau}) = 5{,}0\times 10^{-2}\ \text{mol}$: mélange équimolaire.

PIÈGE
Se tromper dans la formule brute de l'ester. Compter les atomes sur la formule semi-développée : 7 C, 14 H, 2 O.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$7 \times 12 + 14 \times 1 + 2 \times 16$ = 130

$\frac{6.5}{130}$ ≈ 0.05

$\frac{0.90}{18}$ ≈ 0.05

2.2.3 Calculer le quotient de réaction initial et en déduire le sens d'évolution du système.

Données utiles $Q_{r,\text{éq}} = 0{,}25$

Ici l'eau est un réactif et non le solvant : elle figure dans le quotient de réaction.

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{acide}]_i\,[\text{alcool}]_i}{[\text{ester}]_i\,[\text{eau}]_i}$$

À l'état initial, le mélange ne contient ni acide ni alcool : le numérateur est nul, donc $Q_{r,i} = 0$.

$Q_{r,i} < Q_{r,\text{éq}}$: le système évolue dans le sens direct, celui de l'hydrolyse de l'ester.

$Q_{r,i} = 0 < Q_{r,\text{éq}} = 0{,}25$: évolution dans le sens direct.

MÉTHODE
Critère d'évolution : si $Q_{r,i} < K$, sens direct ; si $Q_{r,i} > K$, sens inverse ; si $Q_{r,i} = K$, le système est à l'équilibre et n'évolue pas.

2.2.4 Compléter le tableau d'avancement de l'annexe et déterminer l'avancement à l'état d'équilibre.

Données utiles $n_i = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol pour l'ester et pour l'eau (2.2.2) ; $Q_{r,\text{éq}} = 0{,}25$

Tableau : voir l'annexe complétée. Si la transformation était totale : $n_i - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

À l'équilibre, toutes les espèces occupant le même volume V :

$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{\frac{x_f}{V} \times \frac{x_f}{V}}{\frac{n_i - x_f}{V} \times \frac{n_i - x_f}{V}} = \frac{x_f^2}{(n_i - x_f)^2}$$

Les quantités étant positives : $\frac{x_f}{n_i - x_f} = \sqrt{Q_{r,\text{éq}}}$, d'où

$$x_f = \frac{n_i\sqrt{Q_{r,\text{éq}}}}{1 + \sqrt{Q_{r,\text{éq}}}} = \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times \sqrt{0{,}25}}{1 + \sqrt{0{,}25}} = 1{,}7 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$x_f = 1{,}7 \times 10^{-2}$ mol

PIÈGE
Oublier la racine carrée et calculer $n_i \times 0{,}25/1{,}25$: on trouverait $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol, valeur fausse.

COMPRENDRE
Il reste $5{,}0 \times 10^{-2} - 1{,}7 \times 10^{-2} = 3{,}3 \times 10^{-2}$ mol d'ester, valeur annoncée par l'énoncé à la question 2.3. Le taux d'avancement vaut $x_f/x_{\max} \approx 0{,}33$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{5.0 \times 10^{-2} \times \sqrt{0.25}}{1 + \sqrt{0.25}}$ ≈ 0.01666667

Équation chimique		Ester +	eau =	acide carboxylique +	alcool
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	$5{,}0 \times 10^{-2}$	$5{,}0 \times 10^{-2}$	0	0
État au cours de la transformation	x	$5{,}0 \times 10^{-2} - x$	$5{,}0 \times 10^{-2} - x$	x	x
État si la transformation est totale	x_{max}	0	0	$5{,}0 \times 10^{-2}$	$5{,}0 \times 10^{-2}$
État final réel	x_f	$3{,}3 \times 10^{-2}$	$3{,}3 \times 10^{-2}$	$1{,}7 \times 10^{-2}$	$1{,}7 \times 10^{-2}$

2.2.4 · Tableau d'avancement de l'annexe complété (en orange, ce que l'on écrit)

2.3.1 Reste-t-il la même quantité d'ester à l'équilibre si les quantités initiales sont celles de la question 2.2 et la température égale à 95 °C ? Justifier.

Données utiles à 75 °C, ester restant à l'équilibre : $3{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

La température est un facteur cinétique : à 95 °C, l'état d'équilibre est atteint plus rapidement. En revanche, pour l'hydrolyse d'un ester, elle ne modifie pas la composition du système à l'équilibre, les quantités initiales étant inchangées.

Oui : il reste la même quantité d'ester, $3{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$, mais l'équilibre est atteint plus vite.

COMPRENDRE
C'est une particularité de l'estérification et de l'hydrolyse : ces transformations n'échangent presque pas d'énergie thermique, leur constante d'équilibre ne varie donc quasiment pas avec la température.

2.3.2 Reste-t-il la même quantité d'ester à l'équilibre si la quantité initiale d'ester est identique, avec 100 mL d'eau dans le mélange initial, à 75 °C ? Justifier.

Données utiles $n_i(\text{ester}) = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$ (2.2.2) ; $M(\text{eau}) = 18\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; masse volumique de l'eau : $1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

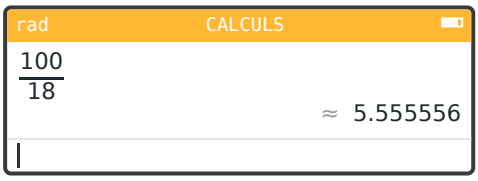
100 mL d'eau ont une masse de 100 g, soit $n(\text{eau}) = \dfrac{100}{18} \approx 5{,}6\ \text{mol}$: l'eau est en très large excès par rapport à l'ester ($5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$).

La température étant la même, $Q_{r,\text{éq}}$ garde la valeur $0{,}25$. Avec davantage d'eau, il faut un avancement final plus grand pour que le quotient de réaction atteigne cette valeur : l'ester est davantage hydrolysé.

Non : il reste moins de $3{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$ d'ester, l'excès d'eau augmente le taux d'avancement final.

MÉTHODE
Mettre un réactif en excès déplace l'équilibre dans le sens direct. Pour améliorer le rendement d'une transformation limitée, on peut aussi éliminer un produit au fur et à mesure.

À LA CALCULATRICE



Les systèmes électriques

Bac S 2010 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

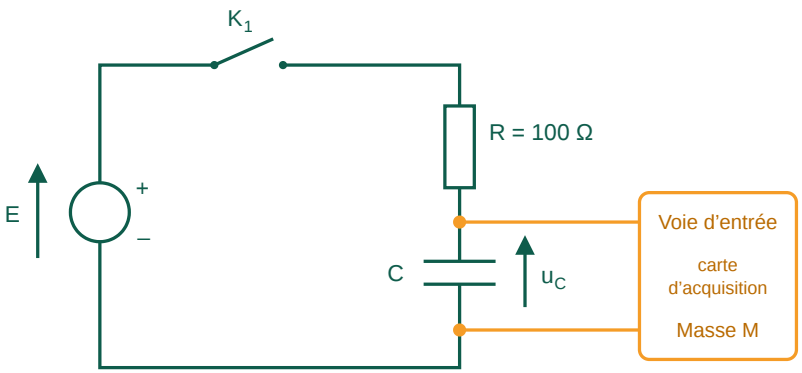
1.1 Reproduire le schéma et indiquer où brancher la masse M et la voie d'entrée de la carte d'acquisition pour étudier u_C. Quel phénomène physique l'enregistrement met-il en évidence ?

Voir le schéma : la masse M est reliée à l'armature du condensateur située du côté de la borne « – » du générateur, la voie d'entrée à l'autre armature (point commun à R et à C). La carte mesure ainsi la tension u_C, dans le sens de la flèche.

À la fermeture de K_1, la tension u_C augmente progressivement de 0 jusqu'à une valeur constante.

L'enregistrement met en évidence la **charge du condensateur** à travers la résistance R.

PIÈGE
Inverser masse et voie d'entrée : la carte mesure le potentiel de la voie par rapport à la masse, on enregistrerait alors $-u_C$.



1.1 · Montage du sujet, avec les branchements de la carte d'acquisition (en orange)

1.2 À partir de la courbe 1, indiquer la valeur E de la tension aux bornes du générateur. Justifier.

Pour t grand, $e^{-t/\tau}$ tend vers 0, donc $u_C = E\,(1 - e^{-t/\tau})$ tend vers E : le palier de la courbe donne E.

Sur la courbe 1, à partir de $t \approx 0{,}03$ s, u_C reste constante et égale à $2{,}0$ V.

$E = 2{,}0$ V

COMPRENDRE
Condensateur chargé : plus aucun courant ne circule, la tension aux bornes de R est nulle ($u_R = R\,i = 0$) et la loi des mailles donne $u_C = E$.

1.3.1 Montrer que la tension u_C atteint 63 % de sa valeur maximale au bout du temps caractéristique τ.

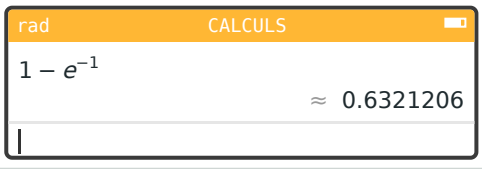
La valeur maximale de u_C est E. À la date $t = \tau$:

$$u_C(\tau) = E\,(1 - e^{-\tau/\tau}) = E\,(1 - e^{-1})$$

Or $1 - e^{-1} = 0{,}63$.

$u_C(\tau) = 0{,}63\,E$: à $t = \tau$, la tension vaut 63 % de sa valeur maximale.

À LA CALCULATRICE



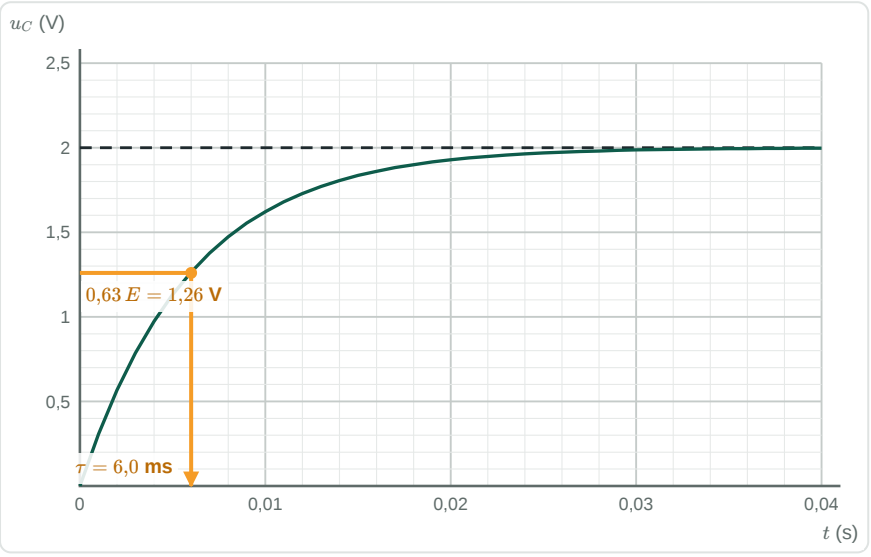
1.3.2 Déterminer la valeur de τ et en déduire la valeur de la capacité C du condensateur.

Données utiles $E = 2{,}0$ V (1.2) ; $R = 100\ \Omega$; $\tau = RC$

$u_C(\tau) = 0{,}63 \times 2{,}0 = 1{,}26$ V. Sur la courbe 1, cette tension est atteinte à la date $\tau = 6{,}0 \times 10^{-3}$ s.

Comme $\tau = RC$: $\quad C = \dfrac{\tau}{R} = \dfrac{6{,}0 \times 10^{-3}}{100} = 6{,}0 \times 10^{-5}$ F

$\tau = 6{,}0$ ms et $C = 6{,}0 \times 10^{-5}$ F $= 60\ \mu$F



1.3.2 · Courbe 1 du sujet : lecture de τ à 63 % du palier

PIÈGE
Laisser τ en millisecondes dans le calcul : avec R en ohms, il faut τ en secondes pour obtenir C en farads.

COMPRENDRE
Une lecture graphique ne donne guère plus de deux chiffres significatifs : τ, donc C, s'écrivent avec deux chiffres. La valeur trouvée est bien celle annoncée dans la partie 3.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.63×2.0 ≈ 1.26

$\dfrac{6.0 \times 10^{-3}}{100}$ ≈ 6×10^{-5}

2.1 Quel phénomène physique l'enregistrement met-il en évidence, et quel élément du circuit en est responsable ?

À la fermeture de K_1, l'intensité ne prend pas instantanément sa valeur finale : elle croît progressivement de 0 jusqu'à une valeur constante.

L'enregistrement montre le **retard à l'établissement du courant**, dû à la **bobine**, qui s'oppose aux variations de l'intensité.

COMPRENDRE
La bobine (circuits RL et RLC) relevait de l'ancien programme ; la spécialité actuelle ne traite que le circuit RC. Les méthodes restent les mêmes : constante de temps, régime transitoire, régime permanent.

2.2 Établir, à partir de l'équation (1), l'expression de l'intensité I en régime permanent. Donner sa valeur numérique et en déduire la résistance r de la bobine.

Données utiles $E = 2{,}0$ V (1.2) ; $R = 100\ \Omega$

En régime permanent, $i = I$ est constante, donc $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$. L'équation (1) devient $E = (R + r)\,I$, soit

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Sur la courbe 2, le palier vaut $I = 18\ \text{mA} = 18 \times 10^{-3}$ A.

On en tire $R + r = \dfrac{E}{I}$, donc $r = \dfrac{E}{I} - R = \dfrac{2{,}0}{18 \times 10^{-3}} - 100$

$I = \dfrac{E}{R + r} = 18$ mA et $r = 11\ \Omega$

PIÈGE
Oublier de convertir les milliampères en ampères : on trouverait r négatif, ce qui doit alerter.

COMPRENDRE
r est la différence de deux nombres voisins (111 et 100) : une lecture de I à 0,5 mA près la modifie de plusieurs ohms. Seul l'ordre de grandeur, une dizaine d'ohms, est sûr.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.0}{18\times10^{-3}}-100$

$\approx$ 11.11111

2.3 Quelle est la valeur du courant à $t=0$ s ? Comment s'écrit alors l'équation (1) ? Montrer qu'à $t=0$ s, $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}=\dfrac{I}{\tau'}$ avec $\tau'=\dfrac{L}{R+r}$.

La courbe 2 passe par l'origine : $i(0)=0$ A.

Le terme $(R+r)\,i$ est alors nul et l'équation (1) s'écrit, à $t=0$:

$$E=L\left(\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right)_{t=0}$$

Or, d'après la question 2.2, $E=(R+r)\,I$. Donc :

$$\left(\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right)_{t=0}=\frac{E}{L}=\frac{(R+r)\,I}{L}=\frac{I}{\dfrac{L}{R+r}}$$

À $t=0$: $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}=\dfrac{I}{\tau'}$ avec $\tau'=\dfrac{L}{R+r}$

COMPRENDRE

$\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ à $t=0$ est la pente de la tangente à l'origine. Cette tangente, d'équation $i=\dfrac{I}{\tau'}t$, atteint donc la valeur I à la date $t=\tau'$.

2.4 Vérifier que $\dfrac{L}{R+r}$ est homogène à un temps. Déterminer graphiquement τ' et en déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.

Données utiles $I=18$ mA et $r=11\ \Omega$ (2.2) ; $R=100\ \Omega$

Analyse dimensionnelle. Loi d'Ohm, $u=R\,i$: $[R]=[U]\cdot[I]^{-1}$. Pour une bobine idéale, $u=L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$: $[L]=[U]\cdot[T]\cdot[I]^{-1}$.

$$\left[\frac{L}{R+r}\right]=\frac{[U]\cdot[T]\cdot[I]^{-1}}{[U]\cdot[I]^{-1}}=[T]$$

Le rapport $\dfrac{L}{R+r}$ a bien la dimension d'un temps.

Lecture graphique. Comme pour le circuit RC, $i(\tau')=0{,}63\,I=0{,}63\times18=11$ mA. Sur la courbe 2, cette intensité est atteinte à $\tau'=3{,}3\times10^{-3}$ s.

Inductance. $L=\tau'\,(R+r)=3{,}3\times10^{-3}\times(100+11)$

$\tau'=3{,}3$ ms et $L=0{,}37$ H

PIÈGE

Écrire $L=\tau'\times R$ en oubliant la résistance r de la bobine : c'est la résistance totale du circuit qui intervient.

MÉTHODE

Deux lectures possibles d'une constante de temps : l'abscisse du point à 63 % du palier, ou l'abscisse du point où la tangente à l'origine coupe l'asymptote. La première est plus précise, la tangente étant délicate à tracer.

À LA CALCULATRICE

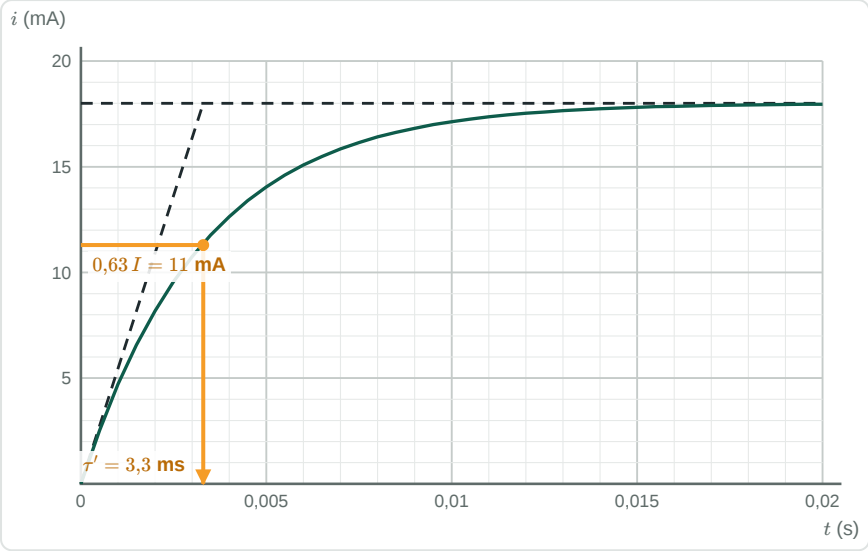
rad CALCULS

0.63×18

$\approx$ 11.34

$3.3\times10^{-3}\times(100+11)$

$\approx$ 0.3663



2.4 · Courbe 2 du sujet : lecture de τ' à 63 % de I ; la tangente à l'origine (tirets) coupe l'asymptote à la même date

3.1 Caractériser du point de vue énergétique l'enregistrement obtenu. Les oscillations observées sont-elles périodiques ? Pourquoi les qualifie-t-on d'oscillations libres ?

Énergie. Le condensateur et la bobine échangent sans cesse de l'énergie : l'énergie électrique $\frac{1}{2}\,C\,u_C^2$ du condensateur se convertit en énergie magnétique $\frac{1}{2}\,L\,i^2$ de la bobine, et inversement. À chaque échange, une partie est dissipée par effet Joule dans la résistance r de la bobine : l'énergie totale du circuit diminue, d'où l'amortissement.

Périodicité. L'amplitude de u_C décroît d'une oscillation à la suivante : la tension ne reprend jamais la même valeur maximale. Les oscillations ne sont pas périodiques, elles sont **pseudo-périodiques**.

Oscillations libres. Interrupteur en position 2, le circuit ne contient plus de générateur : il évolue seul, sans apport d'énergie extérieur, à partir de l'énergie stockée au départ dans le condensateur.

Oscillations **amorties** (énergie dissipée par effet Joule), **pseudo-périodiques**, et **libres** car aucun générateur n'alimente le circuit.

COMPRENDRE
À $t = 0$, $u_C = 2{,}0$ V : c'est la tension E du générateur qui a chargé le condensateur en position 1. Toute l'énergie est alors dans le condensateur, car $i = 0$.

3.2 Mesurer la pseudo-période T des oscillations. En l'assimilant à la période propre $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$, déterminer l'inductance de la bobine et la comparer à la valeur trouvée précédemment.

Données utiles $C = 60\ \mu\text{F} = 60 \times 10^{-6}$ F ; $L = 0{,}37$ H (2.4)

Sur la courbe 3, trois pseudo-périodes séparent le maximum initial ($t = 0$) du quatrième maximum ($t = 0{,}090$ s) : $3T = 0{,}090$ s, donc $T = 0{,}030$ s.

Avec $T = T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$: $T^2 = 4\pi^2\,L\,C$, soit

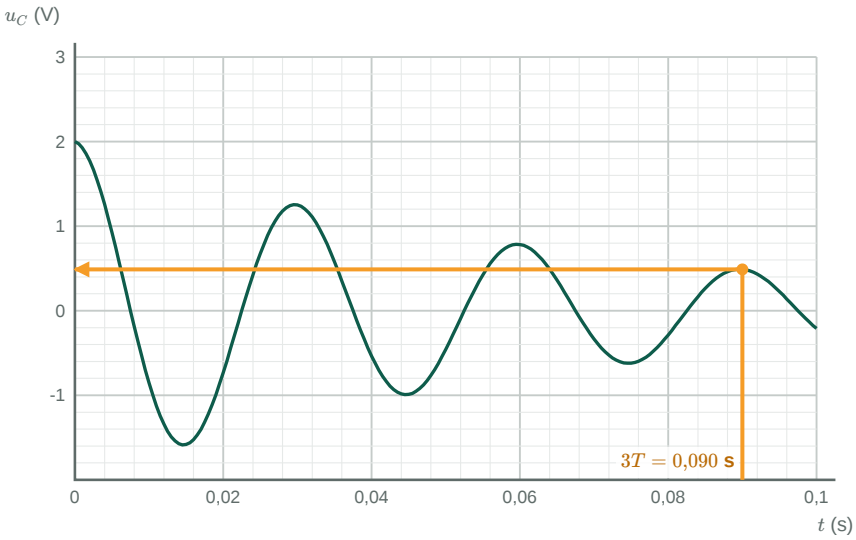
$$L = \frac{T^2}{4\pi^2\,C} = \frac{0{,}030^2}{4\pi^2 \times 60 \times 10^{-6}} = 0{,}38\ \text{H}$$

L'écart relatif avec la valeur de la question 2.4 est $\dfrac{0{,}38 - 0{,}37}{0{,}37} \approx 3\ \%$: les deux déterminations concordent, compte tenu de la précision des lectures graphiques.

$T = 0{,}030$ s et $L = 0{,}38$ H, valeur compatible avec $0{,}37$ H.

PIÈGE
Oublier d'élever T au carré, ou laisser C en microfarads : on obtient une inductance sans rapport avec celle de la partie 2.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs pseudo-périodes puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur trois oscillations au lieu d'une seule.



3.2 · Courbe 3 du sujet : trois pseudo-périodes entre le maximum initial et le quatrième maximum

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.030^2}{4 \times \pi^2 \times 60 \times 10^{-6}} \approx 0.3799544$$

$$\frac{0.38 - 0.37}{0.37} \approx 0.02702703$$

3.3 Comment maintient-on constante l'énergie totale d'un oscillateur électrique ?

L'énergie diminue à cause de l'effet Joule dans les résistances du circuit. Pour la garder constante, on ajoute au circuit un dispositif d'entretien (montage dit « à résistance négative ») qui lui fournit à chaque instant une énergie égale à celle dissipée.

On **entretient** les oscillations : un dispositif apporte au circuit l'énergie perdue par effet Joule ; l'amplitude reste alors constante.

COMPRENDRE

Le dispositif d'entretien n'impose pas sa fréquence : le circuit oscille à sa période propre $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$, d'où une tension sinusoïdale stable en fréquence et en amplitude.

Spécialité : Observation d'objets de petites dimensions

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

1.1 Par construction graphique sur la figure 1 de l'annexe, déterminer l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille L_1.

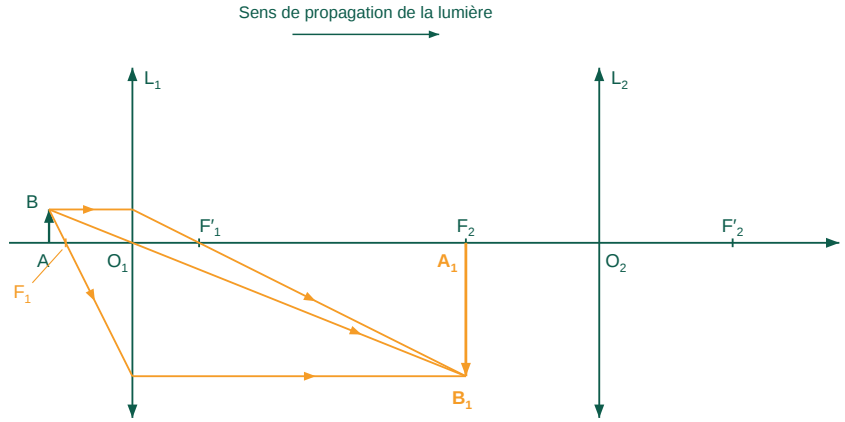
Données utiles $f'_1 = 2{,}0$ cm ; $AB = 1{,}0$ cm ; échelle : 1 cm sur la figure représente 2 cm

On place le foyer objet F_1, symétrique de F'_1 par rapport à O_1, puis on trace trois rayons issus de B :

- celui qui passe par O_1 n'est pas dévié ;
- celui qui arrive parallèlement à l'axe optique ressort en passant par F'_1 ;
- celui qui passe par F_1 ressort parallèlement à l'axe optique.

Ces rayons se coupent en B_1, et A_1 est le projeté de B_1 sur l'axe. On constate que A_1 tombe sur F_2. La flèche A_1B_1 mesure 2,0 cm sur la figure, soit 4,0 cm en réalité.

A_1B_1 est réelle, renversée et quatre fois plus grande que l'objet : $\overline{A_1B_1} = -4{,}0$ cm, avec A_1 en F_2.



1.1 · Figure 1 de l'annexe : construction de l'image intermédiaire A₁B₁ (en orange)

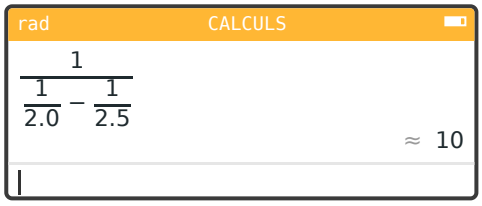
COMPRENDRE

Contrôle par le calcul : la figure donne $\overline{O_1A} = -2{,}5$ cm, donc $\frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{2{,}0} - \frac{1}{2{,}5}$, soit $\overline{O_1A_1} = 10$ cm : c'est bien la position de F_2.

MÉTHODE

Deux rayons suffisent pour trouver B_1 ; le troisième sert de contrôle. S'ils ne concourent pas, le tracé est à reprendre.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Quelle est la position particulière de A_1B_1 par rapport à la lentille L_2 ? Où se forme l'image définitive A_2B_2 ?

A_1 est confondu avec F_2 : l'image intermédiaire A_1B_1 se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire L_2.

Relation de conjugaison pour L_2, avec $\overline{O_2A_1} = \overline{O_2F_2} = -f'_2$:

$$\frac{1}{\overline{O_2A_2}} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{\overline{O_2A_1}} = \frac{1}{f'_2} - \frac{1}{f'_2} = 0$$

A_1B_1 est dans le plan focal objet de L_2 : l'image définitive A_2B_2 se forme à l'infini.

COMPRENDRE

Un inverse nul signifie une distance infinie. C'est la propriété réciproque du foyer objet : tout point du plan focal objet donne, après la lentille, un faisceau de rayons parallèles.

1.2.2 Justifier la position de A_2B_2 en complétant la construction graphique de la figure 1 de l'annexe.

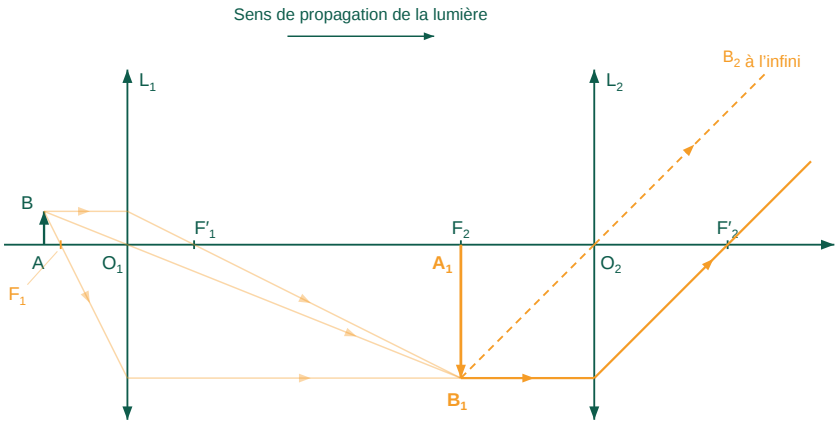
On trace deux rayons issus de B_1 :

- celui qui arrive sur L_2 parallèlement à l'axe optique ressort en passant par F_2' ;
- celui qui passe par O_2 (tracé en pointillés) n'est pas dévié.

Après L_2, ces deux rayons ont la même inclinaison : ils sont parallèles et ne se coupent pas à distance finie.

Les rayons issus de B_1 émergent de l'oculaire parallèles entre eux : B_2 est à l'infini, donc l'image A_2B_2 aussi.

PIÈGE
Le rayon B_1O_2 est un rayon de construction : il indique la direction des rayons émergents. On le trace en pointillés, car aucun rayon venu de l'objectif ne suit ce chemin sur la maquette.



1.2.2 · Figure 1 complétée : les rayons issus de B₁ sortent de L₂ parallèles entre eux, l'image A₂B₂ est à l'infini

1.3 Justifier l'intérêt, pour l'observateur, de la position de l'image finale donnée par le microscope. Quel avantage présente ce système optique pour observer des objets de petites dimensions ?

Données utiles œil emmétrope : vision nette de l'infini (au repos) jusqu'à $d_m = 25$ cm (accommodation maximale)

L'image finale est à l'infini. Or un œil emmétrope voit net à l'infini en restant au repos : l'observateur regarde donc dans le microscope sans accommoder, ce qui évite la fatigue visuelle lors d'une observation prolongée.

Par ailleurs, l'image finale est vue sous un angle bien plus grand que celui sous lequel l'objet serait vu à l'œil nu, même placé au plus près, à la distance d_m.

Image à l'infini : observation sans accommodation, donc sans fatigue. Le microscope agrandit l'angle de vision et rend visibles des détails indiscernables à l'œil nu.

COMPRENDRE
La lunette astronomique afocale repose sur la même idée : l'objectif forme une image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire, qui la renvoie à l'infini.

2.1.1 L'image finale est à l'infini. Où est située l'image intermédiaire donnée par l'objectif ? Déterminer sa position $\overline{O_1A_1}$ par rapport à l'objectif.

Données utiles $f_1' = 10$ mm ; $\Delta = \overline{F_1'F_2} = 160$ mm

L'image finale est à l'infini : l'image intermédiaire A_1B_1 est donc dans le plan focal objet de l'oculaire, c'est-à-dire que A_1 est en F_2.

$$\overline{O_1A_1} = \overline{O_1F_1'} + \overline{F_1'F_2} = f_1' + \Delta = 10 + 160$$

A_1 est en F_2 et $\overline{O_1A_1} = 170$ mm.

MÉTHODE
Sur un axe, on décompose une mesure algébrique en passant par des points connus (relation de Chasles) : ici $O_1 \to F_1' \to F_2$.

2.1.2 Par application de la formule de conjugaison, calculer la distance $\overline{O_1A}$ entre l'objet et l'objectif.

Données utiles $\overline{O_1A_1} = 170$ mm (2.1.1) ; $f_1' = 10$ mm

Pour la lentille L_1 : $\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f_1'}$, donc $\frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{f_1'}$.

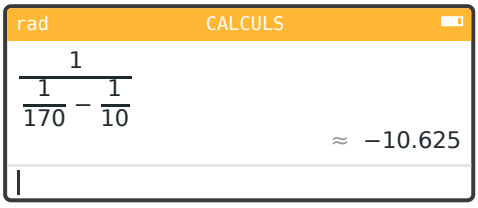
$$\overline{O_1A} = \left(\frac{1}{170} - \frac{1}{10}\right)^{-1} = -10{,}625 \text{ mm}$$

$\overline{O_1A} \approx -10{,}6$ mm, soit -11 mm avec deux chiffres significatifs : l'objet est à environ 11 mm devant l'objectif, juste avant F_1.

PIÈGE
Le signe : l'objet est avant la lentille, $\overline{O_1A}$ est négatif. Un résultat positif révèle une erreur de signe dans la relation de conjugaison.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs, d'où -11 mm. On garde pourtant $-10{,}625$ mm pour la suite : c'est l'écart avec F_1, inférieur au millimètre, qui compte.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Comparer les deux distances $\overline{F_1A}$, dans le cas où l'œil n'accommode pas et dans celui où il accommode. Calculer la différence.

Données utiles sans accommodation : $\overline{F_1A} = -0{,}63$ mm ; avec accommodation : $\overline{F_1A} = -0{,}59$ mm ; $\overline{O_1A} = -10{,}625$ mm (2.1.2)

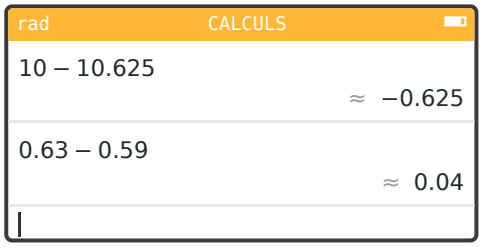
La valeur sans accommodation se retrouve avec la question 2.1.2 : $\overline{F_1A} = \overline{F_1O_1} + \overline{O_1A} = 10 - 10{,}625 = -0{,}625 \approx -0{,}63$ mm.

Dans les deux cas l'objet est à moins d'un millimètre devant F_1, et les deux positions sont presque identiques :

$0{,}63 - 0{,}59 = 0{,}04$ mm

Les deux distances sont très proches : elles diffèrent de $0{,}04$ mm, soit 40 μm. L'objet est un peu plus près de F_1 quand l'œil accommode.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Justifier l'utilisation d'une vis micrométrique pour effectuer la mise au point.

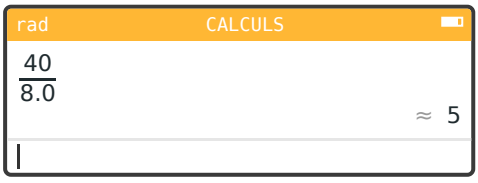
Données utiles écart entre les deux positions extrêmes de l'objet : $0{,}04$ mm (2.2.1)

L'image finale n'est visible nettement, entre l'infini et d_m, que si la distance objet-objectif est réglée dans un intervalle large de $0{,}04$ mm seulement. Un tel réglage est impossible à la main ou avec la seule crémaillère.

La mise au point se joue à quelques centièmes de millimètre (40 μm) : il faut une vis micrométrique, qui déplace l'ensemble objectif-oculaire de façon très fine.

COMPRENDRE
La crémaillère sert au réglage rapide, la vis micrométrique au réglage fin. La plage utile, 40 μm, ne vaut que cinq fois le diamètre du globule rouge observé.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Schématiser l'observation de l'objet à l'œil nu, placé à la distance d_m. Exprimer $\tan\theta$ et en déduire la valeur de θ.

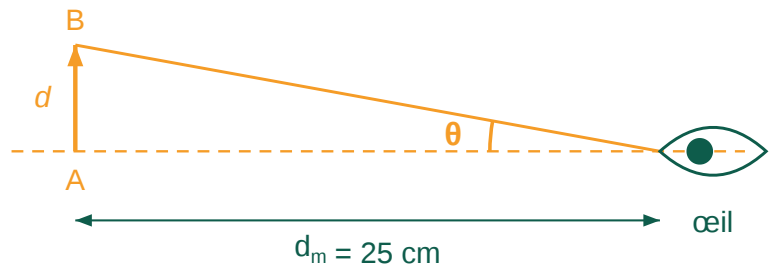
Données utiles $d = 8{,}0\ \mu\text{m}$; $d_m = 25$ cm ; $\tan\theta \approx \theta$ (en radian) si θ est petit

Dans le triangle rectangle formé par l'objet et l'œil : $\tan\theta = \dfrac{d}{d_m}$.

L'angle est très petit, donc $\theta \approx \tan\theta$ avec θ en radian :

$$\theta = \frac{d}{d_m} = \frac{8{,}0 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-2}} = 3{,}2 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

$$\boxed{\tan\theta = \frac{d}{d_m} \text{ et } \theta = 3{,}2 \times 10^{-5}\ \text{rad}}$$



2.3.1 · Objet AB de hauteur d observé à l'œil nu à la distance d_m (schéma sans échelle)

PIÈGE
Les deux longueurs doivent être dans la même unité : $8{,}0\ \mu\text{m} = 8{,}0 \times 10^{-6}$ m et $25\ \text{cm} = 25 \times 10^{-2}$ m. Le résultat est en radian, pas en degré.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{8.0 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-2}}$ $\approx 3.2 \times 10^{-5}$

2.3.2 Noter sur la figure 1 l'angle θ' sous lequel est vue l'image définitive. En déduire son expression littérale, puis calculer θ' pour le microscope réel.

Données utiles $d = 8{,}0\ \mu\text{m}$; $f'_2 = 50$ mm ; $\overline{O_1A_1} = 170$ mm (2.1.1) ; $\overline{O_1A} = -10{,}625$ mm (2.1.2)

θ' est l'angle entre l'axe optique et les rayons qui sortent de l'oculaire, parallèles à (B_1O_2). Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1, avec $O_2A_1 = f'_2$:

$\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$, soit, pour le microscope réel où l'angle est petit, $\theta' = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$.

Taille de l'image intermédiaire, par le grandissement de l'objectif : $\dfrac{A_1B_1}{AB} = \dfrac{O_1A_1}{O_1A}$ (en distances), avec $AB = d$:

$$A_1B_1 = d \times \frac{O_1A_1}{O_1A} = 8{,}0 \times 10^{-6} \times \frac{170}{10{,}625} = 1{,}28 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$$\theta' = \frac{d \times O_1A_1}{O_1A \times f'_2} = \frac{1{,}28 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-3}} = 2{,}56 \times 10^{-3}\ \text{rad}$$

$$\boxed{\theta' = \frac{A_1B_1}{f'_2} = \frac{d \times O_1A_1}{O_1A \times f'_2} \approx 2{,}6 \times 10^{-3}\ \text{rad}}$$

COMPRENDRE
Sur la maquette, $\tan\theta' = 4{,}0/4{,}0 = 1$: l'angle vaut 45° et n'est pas petit. L'approximation $\tan\theta' \approx \theta'$ ne vaut que pour le microscope réel.

MÉTHODE
L'objectif agrandit 16 fois ($170 \div 10{,}625$) : l'image intermédiaire du globule mesure 0,128 mm. L'oculaire joue ensuite le rôle d'une loupe pour l'observer.

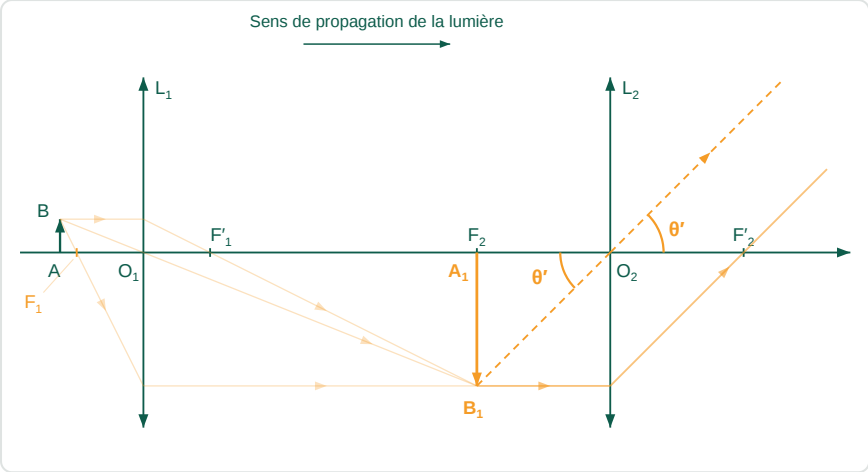
À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{8.0 \times 10^{-6} \times 170}{10.625}$ $\approx 1.28 \times 10^{-4}$

$\dfrac{1.28 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-3}}$ ≈ 0.00256

$\dfrac{170}{10.625}$ ≈ 16



2.3.2 · Figure 1 : l'angle θ′ entre l'axe optique et les rayons qui sortent de l'oculaire

2.3.3 En déduire le grossissement G.

Données utiles $\theta = 3{,}2 \times 10^{-5}$ rad (2.3.1) ; $\theta' = 2{,}56 \times 10^{-3}$ rad (2.3.2)

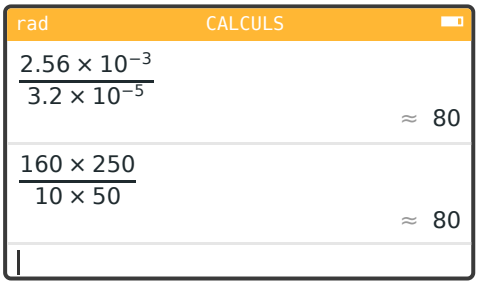
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{2{,}56 \times 10^{-3}}{3{,}2 \times 10^{-5}} = 80$$

$G = 80$: le globule rouge est vu sous un angle 80 fois plus grand qu'à l'œil nu.

COMPRENDRE

G est un rapport de deux angles : il n'a pas d'unité. On vérifie avec les caractéristiques de l'appareil : $G = \frac{\Delta \times d_m}{f_1' \times f_2'} = \frac{160 \times 250}{10 \times 50} = 80$.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Tracer sur la figure 2 de l'annexe les rayons lumineux issus de l'objectif qui, après la traversée de l'oculaire, délimitent et positionnent le cercle oculaire.

Données utiles maquette : $f_2' = 4{,}0$ cm ; $O_1O_2 = 14$ cm (7,0 cm mesurés sur la figure)

Le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif par L_2. On construit donc l'image de chaque bord de L_1 avec deux rayons :

- le rayon qui passe par O_2 n'est pas dévié ;
- le rayon qui passe par F_2 ressort parallèlement à l'axe optique.

Leur intersection donne l'image du bord. Les deux points obtenus, symétriques par rapport à l'axe, limitent le cercle oculaire.

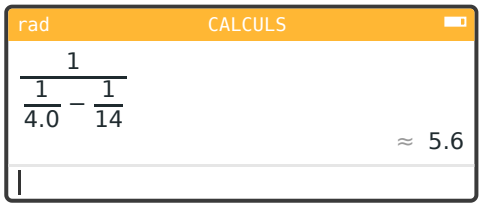
Contrôle : $\frac{1}{\overline{O_2C}} = \frac{1}{f_2'} + \frac{1}{\overline{O_2O_1}} = \frac{1}{4{,}0} - \frac{1}{14}$, d'où $\overline{O_2C} = 5{,}6$ cm.

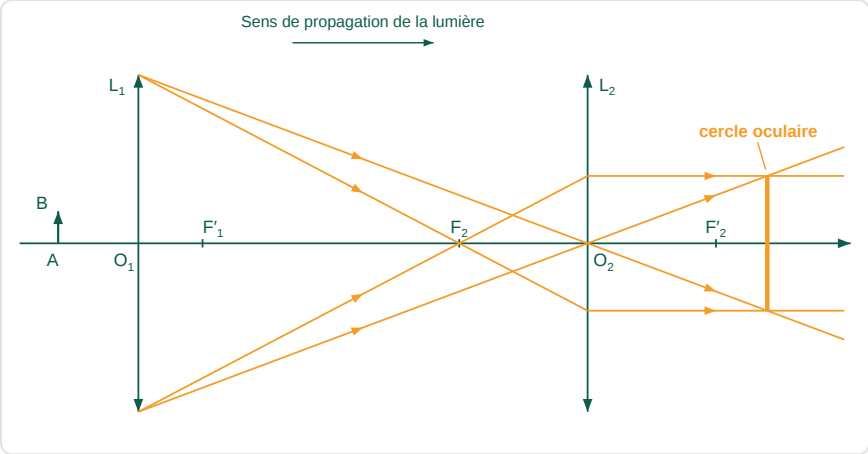
Le cercle oculaire est situé à 5,6 cm après O_2, soit 1,6 cm derrière F_2' sur la maquette (2,8 cm et 0,8 cm sur la figure).

COMPRENDRE

Ici l'objet est la lentille L_1 elle-même, et non AB. Toute la lumière qui a traversé l'objectif puis l'oculaire passe à l'intérieur du cercle oculaire.

À LA CALCULATRICE





2.4.1 · Figure 2 de l'annexe : les rayons issus des bords de l'objectif se recoupent, après l'oculaire, sur les bords du cercle oculaire

2.4.2 Lors d'une observation, l'œil doit être proche de F_2' et au centre du cercle oculaire. Justifier cette position idéale de l'œil.

D'après la construction, le cercle oculaire se forme juste derrière F_2'. Tous les rayons qui ont traversé l'objectif puis l'oculaire passent par ce cercle : c'est l'endroit où le faisceau émergent est le plus resserré.

En plaçant sa pupille au centre du cercle oculaire, près de F_2', l'œil reçoit le maximum de la lumière sortant du microscope : l'image est la plus lumineuse possible.

PIÈGE

Répondre « pour voir net » est hors sujet : la netteté dépend de la mise au point. La position de l'œil joue sur la quantité de lumière reçue.