Corrigé complet — Bac 2023 Métropole Jour 1

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

Ex 1	**A la découverte de Saturne** Lunette astronomique afocale · Grossissement · Diffraction par une ouverture circulaire · Deuxième loi de Newton et repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution	11 pts	1 h 56	14 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse de l'arome de banane** Formules topologiques et familles fonctionnelles · Spectroscopie infrarouge · Catalyseur et chauffage à reflux · Réactif limitant et rendement · Énergie et puissance · Chimie verte	5 pts	53 min	10 questions	p. 8
Ex 3	**Une formulation de l'aspirine** Groupes caractéristiques et acides aminés · Diagramme de prédominance · Titrage acide-base · Dosage par étalonnage · Loi de Beer-Lambert · Écart normalisé	4 pts	48 min	6 questions	p. 12

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.

A la découverte de Saturne

Bac 2023 Métropole Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q1 Préciser le sens du terme « afocal ».

Un système optique afocal ne possède pas de foyers : d'un objet situé à l'infini, il forme une image elle aussi à l'infini. Un faisceau de rayons parallèles entre eux à l'entrée ressort en faisceau de rayons parallèles entre eux.

Afocal : objet à l'infini et image finale à l'infini.

COMPRENDRE
L'image étant à l'infini, l'œil l'observe sans accommoder, donc sans fatigue. C'est le réglage habituel d'une lunette astronomique.

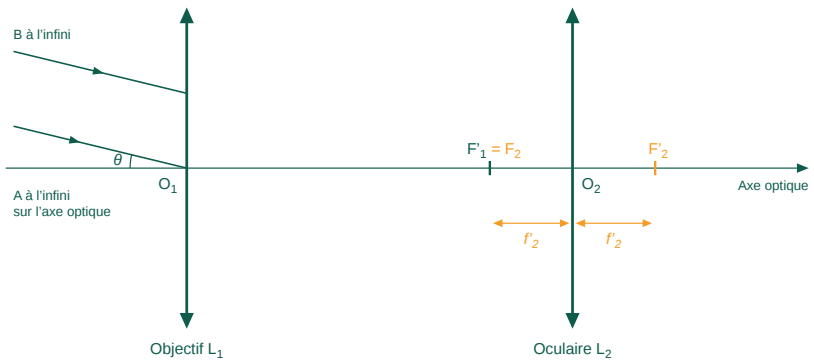
Q2 Placer sur la figure A1 les foyers objet F_2 et image F_2' de la lentille L_2 dans le cas d'une lunette afocale.

Lunette afocale : le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F_1' de l'objectif.

Le foyer image F_2' est le symétrique de F_2 par rapport au centre optique O_2 : $O_2F_2' = F_2O_2 = f_2'$.

F_2 confondu avec F_1' ; F_2' symétrique de F_2 par rapport à O_2 (voir figure).

PIÈGE
Prendre le symétrique par rapport à O_1 ou placer F_2' avant l'oculaire. Pour une lentille convergente, le foyer image est du côté où sort la lumière.



Q2 · Figure A1 : foyers de l'oculaire placés (en orange)

Q3 Construire sur la figure A1 la marche des deux rayons issus de B qui émergent de la lunette, en faisant apparaître l'image intermédiaire A_1B_1.

B est à l'infini : son image B_1 par l'objectif se trouve dans le plan focal image de L_1, à la verticale de F_1'. Le point A_1 est en F_1'.

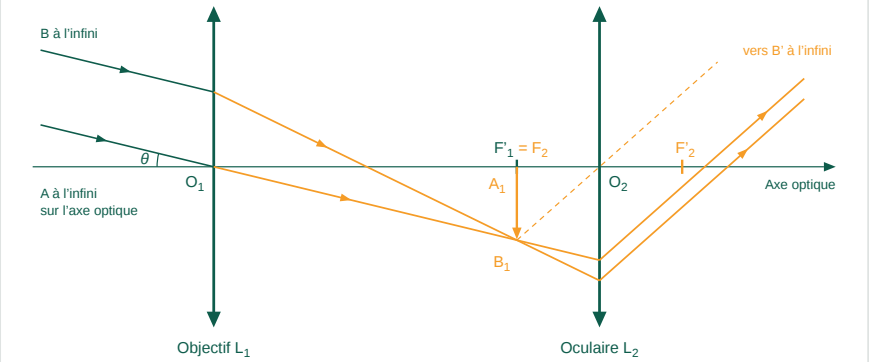
Le rayon passant par O_1 n'est pas dévié : il coupe ce plan en B_1. Le second rayon, parallèle au premier, sort de L_1 en passant aussi par B_1 .

B_1 est dans le plan focal objet de L_2 : les deux rayons émergent de l'oculaire parallèles entre eux, parallèles à la droite (B_1O_2) tracée en pointillés.

Image intermédiaire A_1B_1 dans le plan focal commun, renversée ; rayons émergents parallèles à (B_1O_2) (voir figure).

PIÈGE
Arrêter les rayons en B_1 : ils se croisent en ce point puis continuent en ligne droite jusqu'à l'oculaire. Tracer les rayons à la règle, avec des flèches.

MÉTHODE
Pour trouver la direction de sortie, tracer le rayon fictif qui part de B_1 et passe par O_2 sans être dévié. Tous les rayons issus de B_1 ressortent parallèles à lui.



Q3 · Figure A1 : marche des deux rayons et image intermédiaire

Q4 Vérifier, à partir des données, que la lunette de Huygens peut être considérée comme afocale.

Données utiles $f'_1 = 329$ cm ; $f'_2 = 7{,}0$ cm ; tube $L = 372$ cm ; objectif enfoncé de $\ell = 36$ cm

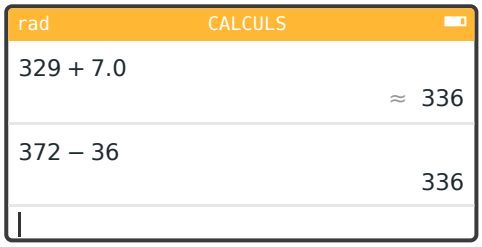
La lunette est afocale si F'_1 et F_2 sont confondus, donc si la distance entre les deux lentilles vaut $O_1O_2 = f'_1 + f'_2$.

Somme des distances focales : $f'_1 + f'_2 = 329 + 7{,}0 = 336$ cm.

Distance réelle entre les lentilles (figure 4) : $O_1O_2 = L - \ell = 372 - 36 = 336$ cm.

$O_1O_2 = f'_1 + f'_2 = 336$ cm : la lunette de Huygens est bien afocale.

À LA CALCULATRICE

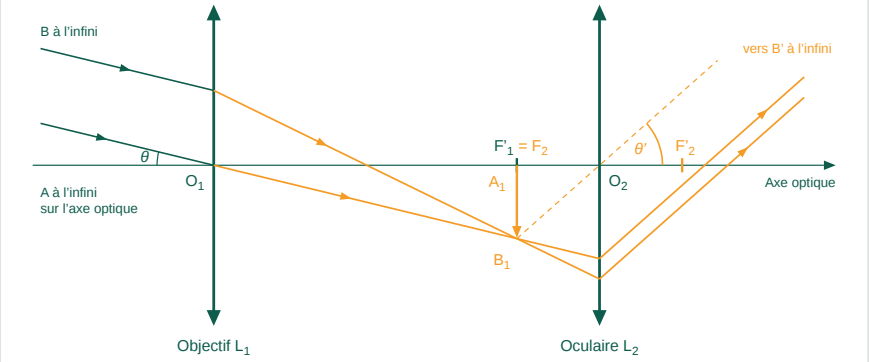


Q5 Placer l'angle θ' sur la figure A1.

θ' est l'angle entre l'axe optique et la direction des rayons qui émergent de l'oculaire. On le marque en O_2, entre l'axe optique et la droite (B_1O_2), ou entre l'axe et l'un des rayons émergents.

θ' : angle entre l'axe optique et les rayons émergents (voir figure).

COMPRENDRE
Sur le schéma, θ' est nettement plus grand que θ : c'est ce qui traduit le grossissement. On retrouve aussi θ' dans le triangle $O_2A_1B_1$, utile pour la question Q7.



Q5 · Figure A1 complétée : angle θ' en sortie de la lunette

Q6 Donner l'expression du grossissement G_{Huy} de la lunette de Huygens en fonction des angles θ et θ'.

Le grossissement compare l'angle sous lequel l'objet est vu à travers l'instrument à l'angle sous lequel il est vu à l'œil nu.

$$G_{Huy} = \frac{\theta'}{\theta}$$

PIÈGE
Inverser le rapport. Un grossissement de lunette est supérieur à 1 : l'angle de sortie θ' est au numérateur. C'est un nombre sans unité.

Q7 Montrer que le grossissement s'exprime en fonction des distances focales : $G_{Huy} = \dfrac{f'_1}{f'_2}$.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1, avec $O_1A_1 = f'_1$: $\tan\theta = \dfrac{A_1B_1}{f'_1}$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1, avec $O_2A_1 = f'_2$: $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$.

Les angles sont petits, donc $\tan\theta = \theta$ et $\tan\theta' = \theta'$ (en radians) :

$$G_{Huy} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1}$$

$$\boxed{G_{Huy} = \frac{f'_1}{f'_2}}$$

PIÈGE
Oublier de citer l'approximation des petits angles : sans elle, on n'obtient qu'un rapport de tangentes et la démonstration est incomplète.

MÉTHODE
Chercher le segment commun aux deux triangles : ici A_1B_1, vu depuis O_1 sous l'angle θ et depuis O_2 sous l'angle θ'. Il se simplifie dans le rapport.

Q8 Calculer la valeur du grossissement G_{Huy} de la lunette utilisée par Huygens.

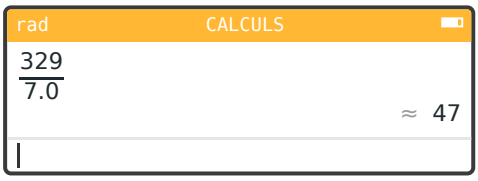
Données utiles $f'_1 = 329$ cm ; $f'_2 = 7{,}0$ cm

$$G_{Huy} = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{329}{7{,}0}$$

$$\boxed{G_{Huy} = 47}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $f'_2 = 7{,}0$ cm, la donnée la moins précise. Les deux distances sont dans la même unité : inutile de convertir en mètres.

À LA CALCULATRICE



Q9 Conclure sur la possibilité pour Huygens de distinguer la surface de Saturne de son premier anneau en utilisant la lunette.

Données utiles $D_{A\text{-}B} = 3{,}17 \times 10^4$ km ; $D_{T\text{-}S} = 1{,}42 \times 10^9$ km ; $G_{Huy} = 47$ (Q8) ; seuil de l'œil : $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad

Angle à l'œil nu (figure 5), avec l'approximation des petits angles :

$$\theta = \frac{D_{A\text{-}B}}{D_{T\text{-}S}} = \frac{3{,}17 \times 10^4}{1{,}42 \times 10^9} = 2{,}23 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

Angle à travers la lunette : $\theta' = G_{Huy} \times \theta = 47 \times 2{,}23 \times 10^{-5} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ rad.

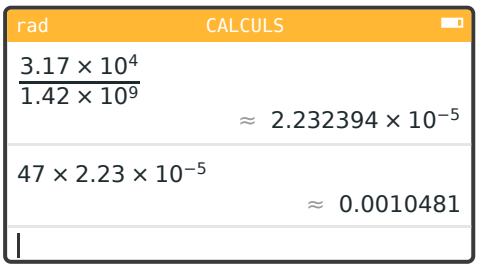
Or $1{,}0 \times 10^{-3}$ rad $> 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad.

$\theta' = 1{,}0 \times 10^{-3}$ rad, supérieur au seuil : Huygens peut distinguer la surface de Saturne de son premier anneau.

PIÈGE
Comparer θ au seuil au lieu de θ'. Les deux distances restent en kilomètres : seul leur rapport compte, et il donne un angle en radians.

COMPRENDRE
À l'œil nu, $\theta = 2{,}23 \times 10^{-5}$ rad est treize fois plus petit que le seuil : sans instrument, Saturne et ses anneaux se confondent en un seul point.

À LA CALCULATRICE



Q10 Expliquer, par une approche quantitative, pourquoi la diffraction a empêché Galilée d'observer les anneaux de Saturne avec sa lunette, contrairement à Huygens.

Données utiles $\lambda = 550$ nm ; $a_{Gal} = 29{,}0$ mm ; $a_{Huy} = 51{,}0$ mm ; $\theta = 2{,}23 \times 10^{-5}$ rad (Q9)

Deux points A et B sont séparés par la lunette si $\theta \geq \theta_{\text{diff}}$, avec $\theta_{\text{diff}} = 1{,}22 \times \dfrac{\lambda}{a}$ et $\theta = 2{,}23 \times 10^{-5}$ rad.

Lunette de Galilée : $\theta_{\text{diff}} = 1{,}22 \times \dfrac{550 \times 10^{-9}}{29{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}31 \times 10^{-5}$ rad.

$\theta < \theta_{\text{diff}}$: les taches d'Airy de A et de B se superposent, Galilée ne peut pas séparer la planète de son anneau.

Lunette de Huygens : $\theta_{\text{diff}} = 1{,}22 \times \dfrac{550 \times 10^{-9}}{51{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}32 \times 10^{-5}$ rad.

$\theta > \theta_{\text{diff}}$: les deux taches sont séparées, Huygens distingue l'anneau.

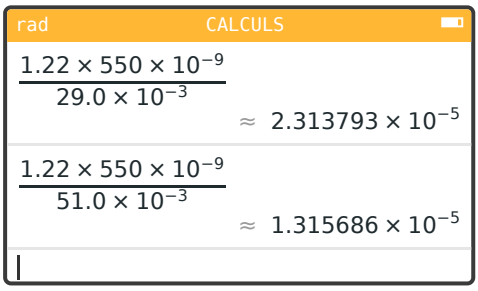
Galilée : $\theta_{\text{diff}} = 2{,}31 \times 10^{-5}$ rad $> \theta$; Huygens : $\theta_{\text{diff}} = 1{,}32 \times 10^{-5}$ rad $< \theta$. Seul l'objectif de Huygens, plus large, sépare Saturne de son anneau.

PIÈGE
Comparer θ_{diff} à θ' : la diffraction a lieu à l'entrée de l'objectif, donc la comparaison se fait avec θ. Convertir λ et a en mètres.

COMPRENDRE
Avec $G_{Gal} = 14$, Galilée obtenait $14 \times 2{,}23 \times 10^{-5} = 3{,}1 \times 10^{-4}$ rad, juste au-dessus du seuil de l'œil. Son grossissement suffisait presque : c'est bien le diamètre de l'objectif qui le limitait.

MÉTHODE
Question ouverte : écrire le critère, calculer la grandeur pour chaque lunette, comparer, conclure par une phrase. Chaque étape rédigée rapporte des points, même si le calcul n'aboutit pas.

À LA CALCULATRICE



Q11 Justifier le choix de Huygens de diviser la trajectoire de Titan en 16 parties.

Huygens retrouve Titan à la même position le 25 mars et le 10 avril, le 3 et le 19 avril, le 13 et le 29 avril. Chacun de ces intervalles dure 16 jours (mars compte 31 jours : $6 + 10 = 16$).

Titan fait donc un tour de Saturne en 16 jours environ. En divisant l'orbite en 16 parties égales, le satellite avance d'une division par jour, puisque son mouvement est régulier.

Période de révolution d'environ 16 jours : une division de l'orbite correspond à un jour.

COMPRENDRE
Le texte le confirme : numéro 12 le 25 mars, 13 le 26, 14 le 27. Neuf jours après le 25 mars, le 3 avril, Titan est en $12 + 9 - 16 = 5$.

Q12 Donner l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle exercée par Saturne sur Titan en fonction de G, M_S, M_T, R et de l'un des vecteurs unitaires.

La force est attractive, dirigée de Titan vers le centre S de Saturne, donc selon $\vec{u}_n$.

$$\overrightarrow{F}_{S/T} = G\,\frac{M_S\,M_T}{R^2}\,\vec{u}_n$$

PIÈGE
Mettre un signe « $-$ » : sur la figure 7, $\vec{u}_n$ pointe déjà vers S. Ne pas oublier la flèche sur $\overrightarrow{F}_{S/T}$ ni le vecteur unitaire.

Q13 Le mouvement de Titan autour de S est supposé circulaire. Montrer qu'il est uniforme, puis que $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{R}}$.

Système {Titan}, de masse M_T constante ; référentiel saturnocentrique supposé galiléen ; seule force : $\overrightarrow{F}_{S/T}$.

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{F}_{S/T} = M_T\,\vec{a}$, soit $G\,\dfrac{M_S\,M_T}{R^2}\,\vec{u}_n = M_T\,\vec{a}$, donc

$$\vec{a} = \frac{G\,M_S}{R^2}\,\vec{u}_n + 0\,\vec{u}_t$$

Or, dans le repère de Frenet, pour un mouvement circulaire de rayon R : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R}\,\vec{u}_n + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_t$.

Par identification selon $\vec{u}_t$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc v est constante : le mouvement est **uniforme**.

Par identification selon $\vec{u}_n$: $\dfrac{v^2}{R} = \dfrac{G\,M_S}{R^2}$, soit $v^2 = \dfrac{G\,M_S}{R}$.

Mouvement uniforme et $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{R}}$

PIÈGE

Dire « l'accélération est constante donc le mouvement est uniforme » : le vecteur $\vec{a}$ change de direction à chaque instant. Seul $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$ prouve l'uniformité.

MÉTHODE

Toujours le même enchaînement : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, accélération dans le repère de Frenet, identification. La composante tangentielle donne l'uniformité, la composante normale donne la vitesse.

Q14 En déduire l'expression de la période de révolution T_{Kep} de Titan. Calculer sa valeur. Commenter.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2} ; $M_S = 5{,}68 \times 10^{26}$ kg ; $R = 1{,}22 \times 10^6$ km ; T_{Huy} = 15 jours 23 heures 13 minutes

Le mouvement est uniforme : Titan parcourt la circonférence $2\pi R$ pendant une période, donc $v = \dfrac{2\pi R}{T_{Kep}}$.

$$T_{Kep} = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi R\sqrt{\frac{R}{G\,M_S}} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{G\,M_S}}$$

Avec $R = 1{,}22 \times 10^9$ m :

$$T_{Kep} = 2\pi\sqrt{\frac{(1{,}22\times10^9)^3}{6{,}67\times10^{-11}\times5{,}68\times10^{26}}} = 1{,}38\times10^6 \text{ s}$$

soit environ 15,9 jours.

Valeur de Huygens : $T_{Huy} = 15\times24\times3600 + 23\times3600 + 13\times60 = 1\,379\,580$ s $= 1{,}38\times10^6$ s.

Les deux valeurs coïncident avec trois chiffres significatifs (écart relatif d'environ 0,3 %) : la mesure de Huygens, faite en 1655, est remarquablement précise et en accord avec le modèle du mouvement circulaire uniforme.

$T_{Kep} = 2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{G\,M_S}} = 1{,}38\times10^6$ s, en accord avec $T_{Huy} = 1{,}38\times10^6$ s.

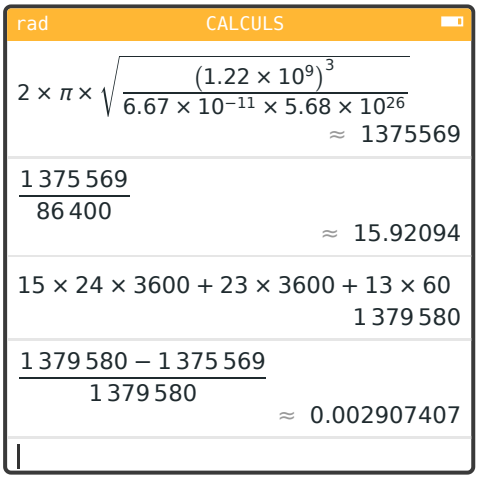
PIÈGE

Laisser R en kilomètres : G est en unités SI, il faut $R = 1{,}22\times10^9$ m. L'erreur est élevée au cube, le résultat devient absurde.

COMPRENDRE

La masse de Titan n'intervient pas : M_T s'est simplifiée dans la deuxième loi de Newton. En élevant au carré, on retrouve la troisième loi de Kepler, $\dfrac{T^2}{R^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_S}$.

À LA CALCULATRICE



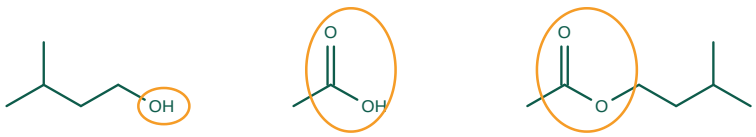
Synthèse de l'arome de banane

Bac 2023 Métropole Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Représenter la formule topologique des réactifs et de l'éthanoate de 3-méthylbutyle. Entourer les groupes caractéristiques et identifier les familles fonctionnelles.

Voir les trois formules topologiques ci-dessous, groupes caractéristiques entourés.

3-méthylbutan-1-ol : groupe hydroxyle, famille des **alcools**. Acide éthanoïque : groupe carboxyle, famille des **acides carboxyliques**. Éthanoate de 3-méthylbutyle : groupe ester, famille des **esters**.



3-méthylbutan-1-ol
groupe hydroxyle
famille : alcool

acide éthanoïque
groupe carboxyle
famille : acide carboxylique

éthanoate de 3-méthylbutyle
groupe ester
famille : ester

Q1 · Formules topologiques ; en orange, les groupes caractéristiques entourés

PIÈGE
Pour l'acide et l'ester, entourer seulement $C{=}O$ ou seulement OH : le groupe caractéristique comprend le carbone et ses deux oxygènes.

MÉTHODE
En formule topologique, chaque extrémité ou sommet de la ligne brisée est un carbone ; les H portés par les carbones ne sont pas écrits. Seuls les hétéroatomes (ici O) et les H qu'ils portent apparaissent.

Q2 Justifier que le produit P obtenu lors de cette synthèse est de l'eau.

Formules brutes : 3-méthylbutan-1-ol $C_5H_{12}O$; acide éthanoïque $C_2H_4O_2$; éthanoate de 3-méthylbutyle $C_7H_{14}O_2$.

$$C_5H_{12}O + C_2H_4O_2 \rightleftharpoons C_7H_{14}O_2 + P$$

Les réactifs apportent 7 C, 16 H et 3 O ; l'ester en contient 7 C, 14 H et 2 O. Par conservation des éléments, P contient 2 H et 1 O.

P a pour formule H_2O : c'est de l'eau.

MÉTHODE
Pour identifier une espèce inconnue dans une équation : écrire les formules brutes, compter chaque élément de part et d'autre, puis attribuer la différence à l'espèce manquante.

Q3 Attribuer, en justifiant, chacun des spectres A et B soit à l'acide éthanoïque, soit à l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

Données utiles $O{-}H$: $3200 - 3700\ \text{cm}^{-1}$, forte et large ; $C{=}O$: $1650 - 1750\ \text{cm}^{-1}$, forte et fine

Les deux molécules possèdent une liaison $C{=}O$: les deux spectres montrent une bande forte et fine vers $1700\ \text{cm}^{-1}$, qui ne permet pas de trancher.

Seul l'acide éthanoïque possède une liaison $O{-}H$. Le spectre A présente une bande forte et très large autour de $3000\ \text{cm}^{-1}$; le spectre B n'en présente pas (seulement les bandes $C{-}H$, fines, vers $2900\ \text{cm}^{-1}$).

Spectre A : acide éthanoïque. Spectre B : éthanoate de 3-méthylbutyle.

COMPRENDRE
Dans un acide carboxylique, la bande $O{-}H$ est décalée vers les petits nombres d'onde et recouvre celle des $C{-}H$: elle déborde de l'intervalle du tableau. C'est sa largeur qui la signale.

MÉTHODE
Chercher d'abord la liaison que possède une seule des deux molécules : c'est elle, par sa présence ou son absence, qui permet l'attribution.

Q4 Nommer les étapes 2 et 3 du protocole A.

Étape 2 : transformation chimique (la synthèse proprement dite, par chauffage à reflux).

Étape 3 : séparation et purification du produit (lavages de la phase organique, puis séchage).

Étape 2 : transformation ; étape 3 : séparation et purification.

COMPRENDRE
Le lavage à l'eau salée entraîne dans la phase aqueuse les espèces qui y sont solubles (acide éthanoïque surtout), alors que l'ester y est très peu soluble. Le sulfate de magnésium anhydre capte les traces d'eau.

Q5 Préciser le sens du mot catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui augmente la vitesse d'une transformation sans figurer dans son équation : il est régénéré en fin de réaction.

PIÈGE
Écrire que le catalyseur augmente le rendement. Il permet d'atteindre plus vite l'état final, sans le modifier.

Q6 Préciser l'utilité du montage de chauffage à reflux dans ce protocole.

Chauffer accélère la transformation : la température est un facteur cinétique.

Le réfrigérant liquéfie les vapeurs, qui retombent dans le ballon : on chauffe à ébullition sans perdre de matière.

Le chauffage à reflux accélère la synthèse tout en évitant les pertes de réactifs et de produits.

Q7 Lors du second lavage, on observe un dégagement gazeux. Proposer une explication à cette observation et justifier l'utilité de cette étape.

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

Après la synthèse, la phase organique contient encore des acides : l'acide éthanoïque qui n'a pas réagi et l'acide sulfurique (catalyseur).

L'ion hydrogénocarbonate, base du couple (CO_2, H_2O) / HCO_3^-, réagit avec ces acides, par exemple :

$$CH_3COOH + HCO_3^- \longrightarrow CH_3COO^- + CO_2\,(g) + H_2O\,(l)$$

Le gaz observé est le dioxyde de carbone.

Dégagement de CO_2 ; ce lavage élimine les acides restants de la phase organique, donc purifie l'ester.

PIÈGE
Utiliser l'autre couple, HCO_3^- / CO_3^{2-} : l'ion HCO_3^- y joue le rôle d'acide et aucun gaz ne se forme. Face à un acide, il intervient comme base.

COMPRENDRE
L'ion éthanoate formé est chargé : il passe dans la phase aqueuse, que l'on élimine. L'acide est ainsi retiré de la phase organique.

Q8 Déterminer le réactif limitant utilisé dans le protocole A puis calculer le rendement de la synthèse.

Données utiles alcool : $V_1 = 22$ mL, $d_1 = 0{,}81$, $M_1 = 88{,}2$ g · mol^{-1} ; acide : $V_2 = 15$ mL, $d_2 = 1{,}05$, $M_2 = 60{,}0$ g · mol^{-1} ; ester : $m_B = 19{,}7$ g, $M_B = 130{,}2$ g · mol^{-1}

Pour un liquide de densité d : $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{d\,\rho_{\text{eau}}\,V}{M}$, avec $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00$ g · mL^{-1}.

Alcool : $n_1 = \dfrac{0{,}81 \times 1{,}00 \times 22}{88{,}2} = 0{,}20$ mol

Acide : $n_2 = \dfrac{1{,}05 \times 1{,}00 \times 15}{60{,}0} = 0{,}26$ mol

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 et $n_1 < n_2$: le 3-méthylbutan-1-ol est le réactif limitant. Si la transformation était totale, on obtiendrait $n_{\max} = n_1$.

Quantité d'ester obtenue : $n_B = \dfrac{m_B}{M_B} = \dfrac{19{,}7}{130{,}2} = 0{,}151$ mol

$$r = \frac{n_B}{n_{\max}} = \frac{0{,}151}{0{,}202} = 0{,}75$$

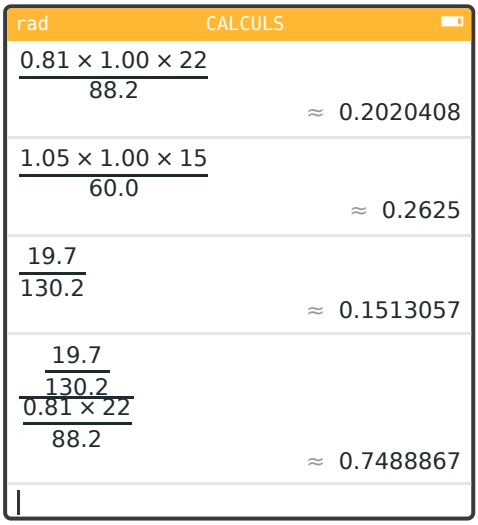
Réactif limitant : le 3-méthylbutan-1-ol ; rendement $r = 75\ \%$.

PIÈGE
Comparer les volumes ou les masses au lieu des quantités de matière : l'alcool a le plus grand volume (22 mL) et c'est pourtant lui le réactif limitant.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les volumes et la densité de l'alcool. Dans le calcul de r, on garde la valeur non arrondie $n_1 = 0{,}202$ mol : avec $0{,}20$ on trouverait 76 %.

MÉTHODE
La densité donne la masse volumique : $\rho = d \times \rho_{\text{eau}}$. Avec $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00$ g · mL^{-1}, la masse en grammes vaut $d \times V$ si V est en mL.

À LA CALCULATRICE



Q9 Calculer l'énergie utilisée pour chauffer le mélange réactionnel dans le protocole B. Commenter.

Données utiles $P = 800$ W ; $\Delta t = 30$ s ; chauffe-ballon (protocoles A et C) : $E_A = 4{,}1 \times 10^5$ J

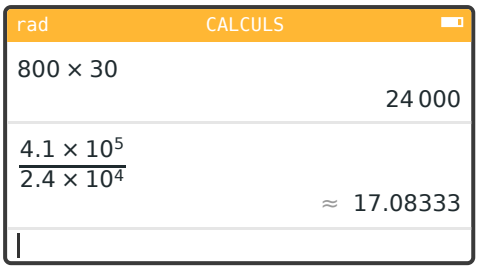
$E_B = P \times \Delta t = 800 \times 30 = 2{,}4 \times 10^4$ J

$$\frac{E_A}{E_B} = \frac{4{,}1 \times 10^5}{2{,}4 \times 10^4} \approx 17$$

$E_B = 2{,}4 \times 10^4$ J : le four à micro-ondes consomme environ 17 fois moins d'énergie que le chauffe-ballon.

MÉTHODE
« Commenter » une valeur, c'est la comparer à une autre valeur du sujet, par un rapport chiffré, puis conclure en une phrase.

À LA CALCULATRICE



Q10 À l'aide de la figure 1, identifier, en le justifiant, quel protocole répond le mieux aux principes directeurs de la chimie verte.

Données utiles rendements : A 75 % (Q8), B 87 %, C 85 % ; énergies : $4{,}1 \times 10^5$ J (A et C), $2{,}4 \times 10^4$ J (B, Q9)

Limitation des dépenses énergétiques : le protocole B consomme environ 17 fois moins d'énergie que A et C, et ne dure que 30 s.

Solvants et toxicité : le protocole C emploie du cyclohexane, inflammable, nocif pour la santé et dangereux pour l'environnement ; A et B s'en passent.

Procédé catalytique : les trois protocoles utilisent un catalyseur, ce critère ne les départage pas.

Efficacité : B a le meilleur rendement (87 %), donc moins de réactifs perdus.

Le protocole B (four à micro-ondes) répond le mieux aux principes de la chimie verte.

MÉTHODE
Reprendre un à un les principes de la figure et, pour chacun, comparer les protocoles avec une donnée du sujet (énergie, pictogrammes, rendement) avant de conclure.

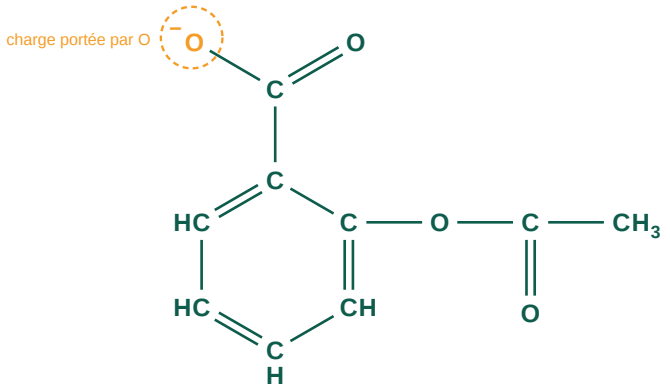
Une formulation de l'aspirine

Bac 2023 Métropole Jour 1 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 48 min**

Q1 Représenter la formule semi-développée de l'ion acétylsalicylate.

L'ion acétylsalicylate est la base conjuguée de l'acide acétylsalicylique : le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ a perdu un ion $\mathrm{H^+}$ et devient le groupe carboxylate $-\mathrm{COO^-}$. Le reste de la molécule est inchangé.

Formule semi-développée tracée sur la figure, de formule brute $\mathrm{C_9H_7O_4^-}$.



Q1 · Formule semi-développée de l'ion acétylsalicylate

PIÈGE
Retirer le H du groupe ester ou oublier la charge. Seul le H lié à l'oxygène du groupe carboxyle est acide, et la charge négative se place sur cet oxygène.

MÉTHODE
Semi-développée : toutes les liaisons sont dessinées, sauf celles qui portent un H. Chaque sommet de la formule topologique devient un C, complété en H jusqu'à quatre liaisons.

Q2 La DL-lysine appartient à la famille des acides aminés. Proposer une explication.

La molécule de DL-lysine porte un groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ (famille des acides carboxyliques) et un groupe amino $-\mathrm{NH_2}$ (famille des amines), présent ici deux fois.

Elle possède à la fois la fonction acide carboxylique et la fonction amine : c'est un acide aminé.

COMPRENDRE
L'un des groupes $-\mathrm{NH_2}$ est fixé sur le carbone voisin du groupe carboxyle : c'est la disposition commune aux acides aminés qui constituent les protéines.

Q3 Indiquer la forme prédominante des espèces associées à l'acide acétylsalicylique et à la DL-lysine dans la solution obtenue après dissolution du sachet dans l'eau.

Données utiles $\mathrm{pH} = 5{,}0$; $\mathrm{p}K_A = 3{,}5$; frontières du diagramme de la DL-lysine : 2,2 ; 9,2 ; 10,7

Couple acide acétylsalicylique / ion acétylsalicylate : $\mathrm{pH} = 5{,}0 > \mathrm{p}K_A = 3{,}5$, donc la base prédomine, c'est-à-dire l'ion acétylsalicylate.

DL-lysine : $2{,}2 < \mathrm{pH} = 5{,}0 < 9{,}2$, donc la forme prédominante est la deuxième du diagramme, avec deux groupes $-\mathrm{NH_3^+}$ et un groupe $-\mathrm{COO^-}$.

Ion acétylsalicylate et ion $\mathrm{H_3N^+-(CH_2)_4-CH(NH_3^+)-COO^-}$ (charge globale $+1$).

PIÈGE
Comparer le pH à une seule frontière pour la lysine. Il faut l'encadrer par deux valeurs du diagramme pour repérer le bon domaine.

COMPRENDRE
Les charges se compensent : un anion acétylsalicylate pour un cation issu de la lysine. C'est bien le composé ionique « acétylsalicylate de DL-lysine » de la notice.

Q4 Justifier que le titrage acide-base de cette solution par un acide fort ne permet pas de déterminer directement la quantité de matière d'ion acétylsalicylate.

La solution contient deux bases : l'ion acétylsalicylate ($\mathrm{p}K_A = 3{,}5$) et le groupe $-\mathrm{COO}-$ de l'ion issu de la lysine ($\mathrm{p}K_A = 2{,}2$).

Les ions $\mathrm{H_3O^+}$ apportés par l'acide fort réagissent avec ces deux bases, dont les $\mathrm{p}K_A$ sont proches : les deux réactions ne se succèdent pas nettement.

Le volume équivalent correspond à la somme des deux quantités de base, et non à celle de l'ion acétylsalicylate seul.

MÉTHODE
Avant tout titrage, lister les espèces présentes et se demander lesquelles réagissent avec le réactif titrant. Le titrage n'est exploitable directement que si une seule espèce réagit.

Q5 Proposer une valeur de la longueur d'onde appropriée pour le dosage par étalonnage et en déduire la couleur de la solution contenant l'espèce B.

On règle le spectrophotomètre sur le maximum d'absorption de B. Sur la figure 2, ce maximum ($A \approx 1{,}4$) est atteint pour $\lambda_{\max} \approx 530$ nm.

Cette longueur d'onde appartient au domaine du vert (500 à 570 nm). La solution a la couleur complémentaire, diamétralement opposée sur le cercle chromatique.

$\lambda \approx 530$ nm ; la solution absorbe le vert, elle est rouge.

PIÈGE
Donner la couleur absorbée comme couleur de la solution. La solution a la couleur de la lumière qu'elle laisse passer, donc la complémentaire.

COMPRENDRE
Au maximum d'absorption, l'absorbance est la plus grande pour une concentration donnée et varie peu avec λ : la mesure est plus sensible et plus précise.

Q6 Vérifier si la masse équivalente m_{exp} d'acide acétylsalicylique présente dans le sachet est en accord avec la notice, avec $u(m) = 30$ mg.

Données utiles $A = 0{,}80$; $V_1 = 250$ mL ; $V_2 = 5{,}0$ mL ; $V_3 = 50{,}0$ mL ; $M = 180{,}2$ g · mol^{-1} ; $m_{\text{ref}} = 500$ mg

Concentration de B dans S. Les points de la figure 3 sont alignés avec l'origine (loi de Beer-Lambert, $A = k\,c_B$). On trace la droite d'étalonnage ; pour $A = 0{,}80$ on lit $c_B = 1{,}0$ mmol · L^{-1}.

Quantité de B dans S. $n_B = c_B \times V_3 = 1{,}0 \times 10^{-3} \times 50{,}0 \times 10^{-3} = 5{,}0 \times 10^{-5}$ mol

Quantité dans le sachet. Les réactions sont totales, avec des nombres stœchiométriques égaux à 1 et des réactifs en excès : n_B est la quantité d'ion salicylate, donc d'acide acétylsalicylique équivalent, contenue dans le prélèvement V_2. La fiole V_1 contient tout le sachet :

$$n = n_B \times \frac{V_1}{V_2} = 5{,}0 \times 10^{-5} \times \frac{250}{5{,}0} = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

Masse équivalente. $m_{\text{exp}} = n \times M = 2{,}5 \times 10^{-3} \times 180{,}2 = 0{,}45\ \text{g} = 4{,}5 \times 10^{2}$ mg

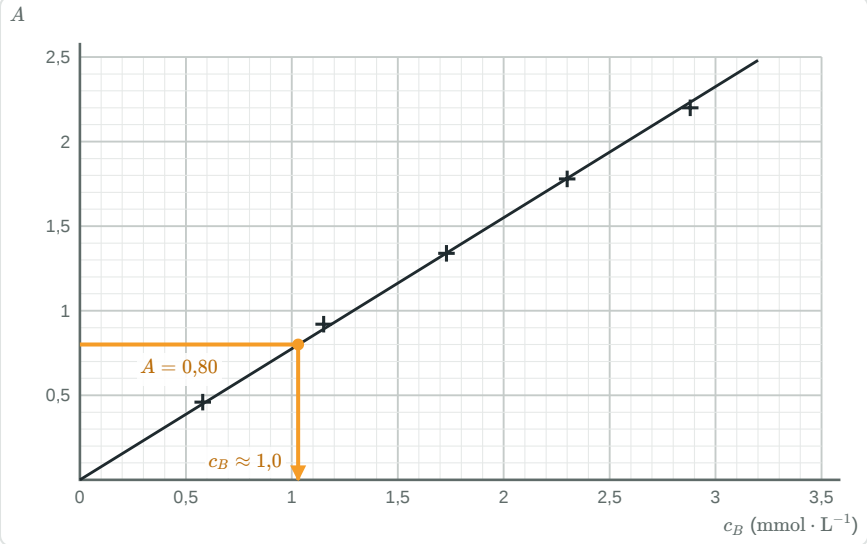
Comparaison. $\dfrac{|m_{\text{exp}} - m_{\text{ref}}|}{u(m)} = \dfrac{|450 - 500|}{30} \approx 1{,}7$, valeur inférieure à 2.

$m_{\text{exp}} \approx 4{,}5 \times 10^{2}$ mg ; quotient $\approx 1{,}7 < 2$: la mesure est en accord avec les 500 mg de la notice.

PIÈGE
Oublier le facteur $V_1/V_2 = 50$: la solution S ne contient que la fraction du sachet prélevée dans V_2. Convertir aussi c_B en mol · L^{-1} et les volumes en litres.

COMPRENDRE
La lecture graphique et l'absorbance ont deux chiffres significatifs : on garde deux chiffres pour m_{exp}. Un quotient inférieur à 2 signifie que l'écart à la notice s'explique par l'incertitude de mesure.

MÉTHODE
Remonter la chaîne à l'envers : absorbance, concentration dans S, quantité dans S, quantité dans le prélèvement, quantité dans la fiole de l'étape 1, puis masse.



Q6 · Figure 3 du sujet : droite d'étalonnage et lecture pour la solution S

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 10^{-3} \times 50.0 \times 10^{-3}$
$\approx 5 \times 10^{-5}$

$\dfrac{5.0 \times 10^{-5} \times 250}{5.0}$
≈ 0.0025

$2.5 \times 10^{-3} \times 180.2$
≈ 0.4505

$\dfrac{500 - 450}{30}$
≈ 1.666667