Corrigé complet — Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 2

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

Ex 1	**Le cyclotron Arronax** Mouvement dans un champ électrique uniforme · Deuxième loi de Newton · Énergie cinétique · Réactions nucléaires · Décroissance radioactive · Demi-vie	11 pts	1 h 56	15 questions	p. 2
Ex 2	**L'acide azélaïque dans les cosmétiques** Formule topologique · Nomenclature · Diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique · Pourcentage massique · Incertitude-type	5 pts	53 min	8 questions	p. 9
Ex 3	**Une synthèse non totale, l'estérification** Chauffage à reflux · Catalyseur · Tableau d'avancement · Constante d'équilibre · Taux d'avancement final · Optimisation d'un rendement	4 pts	42 min	7 questions	p. 13

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.

Le cyclotron Arronax

Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Montrer que la norme du poids de l'ion H^- est négligeable devant celle de la force électrique $\overrightarrow{F_e}$ qui s'applique sur lui.

Données utiles $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg ; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ; $d = 5{,}0$ mm ; $U = 65$ kV ; $E = \dfrac{U}{d}$; $g = 9{,}81\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$

Poids : $P = m\,g = 1{,}67 \times 10^{-27} \times 9{,}81 = 1{,}6 \times 10^{-26}$ N

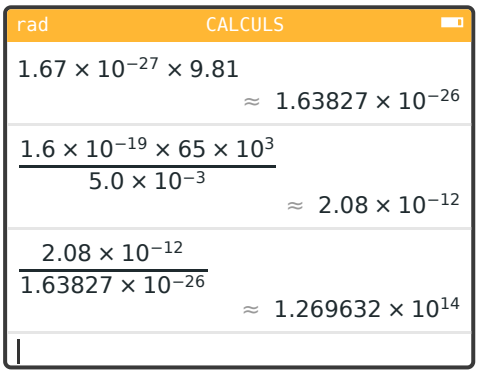
Force électrique : $F_e = |q|\,E = \dfrac{e\,U}{d} = \dfrac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 65 \times 10^{3}}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}1 \times 10^{-12}$ N

$\dfrac{F_e}{P} \approx 1{,}3 \times 10^{14}$: le poids est environ 10^{14} fois plus faible que la force électrique, il est **négligeable**.

PIÈGE
Laisser U en kV ou d en mm : il faut 65×10^3 V et $5{,}0 \times 10^{-3}$ m. Une norme est positive : on utilise $|q| = e$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme e, d et U, les données les moins précises. « Négligeable » se prouve par un rapport chiffré, pas par une simple comparaison de deux valeurs.

À LA CALCULATRICE



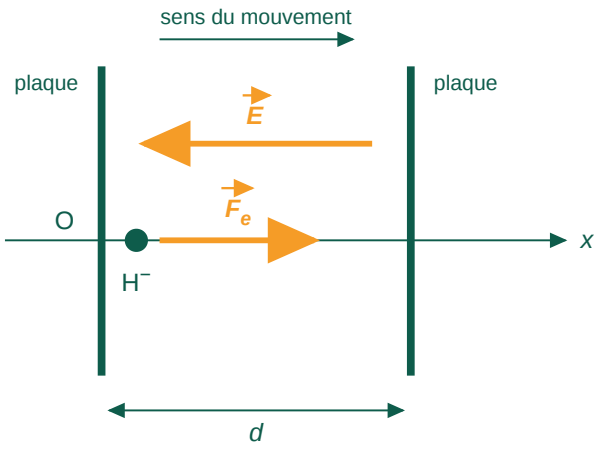
Q.2 Reproduire la figure 2 et y faire apparaître, sans souci d'échelle, la force électrique $\overrightarrow{F_e}$ qui s'applique sur l'ion H^- et le champ électrique $\overrightarrow{E}$ entre les plaques.

L'ion part de O sans vitesse et doit être accéléré vers la droite : $\overrightarrow{F_e}$ est horizontale, dirigée dans le sens du mouvement (sens de l'axe Ox).

Comme $\overrightarrow{F_e} = q\,\overrightarrow{E}$ avec $q = -e < 0$, le champ $\overrightarrow{E}$ a la même direction que la force mais le sens opposé.

$\overrightarrow{F_e}$ est tracée à partir de l'ion vers la droite ; $\overrightarrow{E}$ est horizontal et dirigé vers la gauche.

PIÈGE
Tracer $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{F_e}$ dans le même sens : ce n'est vrai que pour une charge positive. La force se dessine avec son origine sur l'ion.



Q.2 · Figure 2 reproduite : en orange, la force électrique et le champ électrique

Q.3 Exprimer l'accélération a_x de l'ion H^- dans la zone accélératrice en fonction de e, U, d et m, en utilisant la deuxième loi de Newton.

Système {ion H^-}, de masse m constante ; référentiel supposé galiléen ; seule force prise en compte : $\overrightarrow{F_e}$ (poids négligeable, Q.1).

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{F_e} = m\,\vec{a}$, soit $q\,\overrightarrow{E} = m\,\vec{a}$.

En projection sur Ox, le champ étant dirigé vers la gauche : $E_x = -E = -\dfrac{U}{d}$, donc

$$m\,a_x = q\,E_x = (-e) \times \left(-\frac{U}{d}\right)$$

$$\boxed{a_x = \frac{e\,U}{m\,d}}$$

COMPRENDRE
a_x est positive et constante : le mouvement est rectiligne uniformément accéléré dans le sens de l'axe. Les deux signes « $-$ » (charge et sens du champ) se compensent.

Q.4 Montrer que la vitesse et la position de l'ion sur l'axe x s'écrivent $v_x(t) = \dfrac{e\,U}{m\,d} \times t$ et $x(t) = \dfrac{1}{2} \times \dfrac{e\,U}{m\,d} \times t^2$.

Par définition $a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$. On cherche une primitive de a_x, qui est constante :

$$v_x(t) = \frac{e\,U}{m\,d}\,t + C_1$$

Vitesse initiale nulle : $v_x(0) = C_1 = 0$.

De même $v_x = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, d'où par primitive :

$$x(t) = \frac{1}{2}\,\frac{e\,U}{m\,d}\,t^2 + C_2$$

L'ion est en O à $t = 0$: $x(0) = C_2 = 0$.

$$\boxed{v_x(t) = \frac{e\,U}{m\,d}\,t \text{ et } x(t) = \frac{1}{2}\,\frac{e\,U}{m\,d}\,t^2}$$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration ou ne pas les justifier. Chaque constante se détermine avec une condition initiale tirée de l'énoncé, citée explicitement.

Q.5 Calculer la vitesse v_{sortie} de l'ion H^- après le premier passage dans la zone accélératrice, lorsque $x(t) = d$.

Données utiles $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ; $U = 65$ kV ; $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg ; équations horaires (Q.4)

Date de sortie t_s : $x(t_s) = d$ donne $\frac{1}{2}\frac{eU}{md}t_s^2 = d$, soit $t_s = d\sqrt{\frac{2m}{eU}}$ (racine positive).

On remplace dans la vitesse :

$$v_{\text{sortie}} = \frac{eU}{md} \times d\sqrt{\frac{2m}{eU}} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

$$v_{\text{sortie}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}6 \times 10^{-19} \times 65 \times 10^{3}}{1{,}67 \times 10^{-27}}}$$

$v_{\text{sortie}} = 3{,}5 \times 10^{6}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
La distance d disparaît du résultat : la vitesse de sortie ne dépend que de la tension. Elle reste proche de 1 % de la célérité de la lumière, la mécanique de Newton convient.

MÉTHODE
Vitesse à une position donnée : 1) trouver la date avec $x(t)$; 2) la reporter dans $v_x(t)$; 3) simplifier l'expression littérale avant de calculer.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 65 \times 10^{3}}{1.67 \times 10^{-27}}} \approx 3529177$

Q.6 Vérifier que l'énergie cinétique de l'ion H^- à la sortie de la zone accélératrice vaut $E_C = 1{,}0 \times 10^{-14}$ J.

Données utiles $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg ; v_{sortie} (Q.5)

$$E_C = \frac{1}{2}m v_{\text{sortie}}^2 = \frac{1}{2} \times 1{,}67 \times 10^{-27} \times \left(3{,}53 \times 10^{6}\right)^2$$

$E_C = 1{,}04 \times 10^{-14}$ J $\approx 1{,}0 \times 10^{-14}$ J : c'est la valeur attendue.

COMPRENDRE
Avec l'expression de Q.5, $E_C = eU$: le gain d'énergie cinétique à chaque passage est fixé par la tension seule. On calcule avec la valeur non arrondie de la vitesse.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 1.67 \times 10^{-27} \times 3\,529\,176.932^2 \approx 1.04 \times 10^{-14}$

Q.7 Calculer le nombre de tours complets que les particules ont effectués avant la sortie du cyclotron.

Données utiles gain par passage : $E_C = 1{,}0 \times 10^{-14}$ J ; énergie cinétique en sortie : 70 MeV ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

Énergie cinétique finale en joules : $E_{C,f} = 70 \times 10^{6} \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 1{,}12 \times 10^{-11}$ J

L'ion part sans vitesse et ne gagne de l'énergie qu'entre les plaques. Nombre de passages dans la zone accélératrice :

$$n = \frac{E_{C,f}}{E_C} = \frac{1{,}12 \times 10^{-11}}{1{,}0 \times 10^{-14}} = 1{,}12 \times 10^{3}$$

D'après la figure 1, l'ion traverse deux fois l'espace entre les cavités à chaque tour : le nombre de tours est $\frac{n}{2}$.

Environ 560 tours, soit $5{,}6 \times 10^{2}$ tours complets.

PIÈGE
Répondre 1120 : c'est le nombre de passages entre les plaques, pas le nombre de tours. Ne pas oublier non plus le préfixe méga, 10^6.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche en une phrase, convertir dans une unité commune, calculer, puis relier le résultat à ce qui est demandé à l'aide du schéma.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$70 \times 10^{6} \times 1.60 \times 10^{-19} \approx 1.12 \times 10^{-11}$

$\dfrac{1.12 \times 10^{-11}}{1.0 \times 10^{-14}} \approx 1120$

$\dfrac{1120}{2} \approx 560$

Q.8 Écrire l'équation de la réaction nucléaire conduisant à la formation du fluor 18.

Données utiles oxygène : $Z = 8$; fluor : $Z = 9$; proton ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$; neutron ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$

Un proton frappe un noyau d'oxygène 18 ; il se forme un noyau de fluor 18 et un neutron.

$${}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{18}_{8}\mathrm{O} \longrightarrow {}^{18}_{9}\mathrm{F} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

COMPRENDRE
Vérification par les lois de conservation : nombre de masse $1 + 18 = 18 + 1$; nombre de charge $1 + 8 = 9 + 0$.

Q.9 Donner le nom et le symbole de la particule émise lors d'une désintégration β^{+}, puis écrire l'équation de cette désintégration pour le fluor 18.

Une désintégration β^{+} émet un **positon**, noté ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

On note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ le noyau fils. Les nombres de masse se conservent : $A = 18 - 0 = 18$. Les nombres de charge aussi : $Z = 9 - 1 = 8$, numéro atomique de l'oxygène.

$${}^{18}_{9}\mathrm{F} \longrightarrow {}^{18}_{8}\mathrm{O} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$$

PIÈGE
Confondre avec la radioactivité β^{-}, qui émet un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$: le noyau fils aurait alors $Z = 10$.

Q.10 Calculer la longueur d'onde correspondant à l'énergie moyenne du photon, puis justifier l'utilisation d'une gamma-caméra.

Données utiles $E = 511$ keV ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $1\ \mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

$E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$ donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, avec E en joules :

$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{511 \times 10^{3} \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}43 \times 10^{-12}\ \mathrm{m}$$

Sur l'axe des domaines, cette longueur d'onde, proche de 1 pm, se situe dans la zone des rayons γ.

$\lambda = 2{,}43$ pm : le rayonnement émis est un rayonnement γ, d'où l'emploi d'une caméra sensible à ces rayons.

PIÈGE
Laisser l'énergie en keV : $511\ \mathrm{keV} = 511 \times 10^{3} \times 1{,}60 \times 10^{-19}$ J. À la calculatrice, mettre le dénominateur entre parenthèses.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{511 \times 10^{3} \times 1.60 \times 10^{-19}} \approx 2.43273 \times 10^{-12}$

Q.11 Montrer que $N(t) = N_0 \times \mathrm{e}^{-\lambda \times t}$ est solution de l'équation différentielle $\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda \times N(t)$.

On dérive l'expression proposée :

$$\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = N_0 \times (-\lambda)\,\mathrm{e}^{-\lambda t} = -\lambda \times \left(N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}\right)$$

On reconnaît $N(t)$ dans la parenthèse.

$\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = -\lambda\, N(t)$: l'expression vérifie l'équation différentielle (et $N(0) = N_0$).

MÉTHODE
Pour « montrer qu'une expression est solution », on ne résout pas l'équation : on dérive l'expression, puis on compare les deux membres.

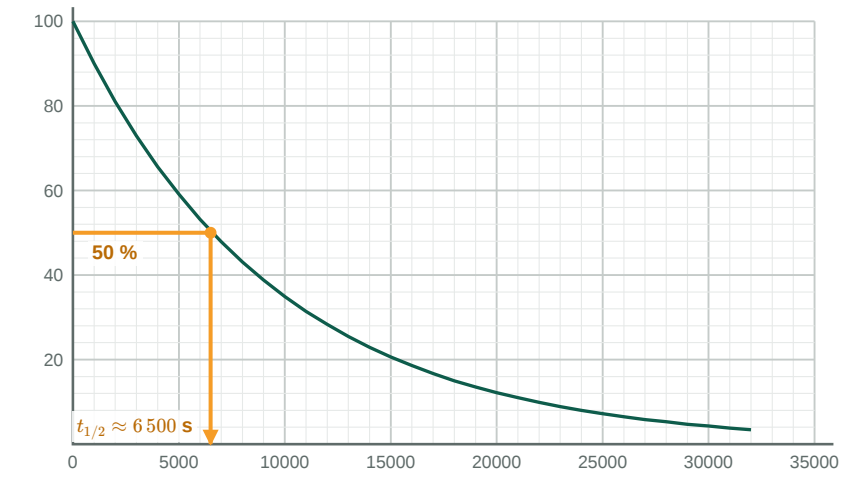
Q.12 Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du fluor 18.

Le temps de demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents s'est désintégrée : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

Sur le graphique, on part de l'ordonnée 50 % ; l'abscisse du point correspondant de la courbe donne $t_{1/2}$.

$t_{1/2} \approx 6{,}5 \times 10^3$ s

COMPRENDRE
Sur l'axe des temps, une petite graduation vaut 1000 s : la lecture se fait à quelques centaines de secondes près, deux chiffres significatifs suffisent. Cela représente environ 1 h 50 min.



Q.12 · Courbe du sujet : lecture du temps de demi-vie

Q.13 Calculer la valeur de la constante radioactive λ du fluor 18.

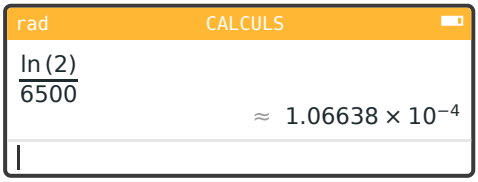
Données utiles $t_{1/2} = \dfrac{\ln(2)}{\lambda}$; $t_{1/2} \approx 6{,}5 \times 10^3$ s (Q.12)

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{6{,}5 \times 10^3}$$

$\lambda = 1{,}1 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$

PIÈGE
Oublier l'unité : λ est l'inverse d'un temps, en s^{-1} puisque $t_{1/2}$ est en secondes.

À LA CALCULATRICE



Q.14 Déterminer le pourcentage de traceur radioactif restant dans le corps du patient après l'analyse des clichés.

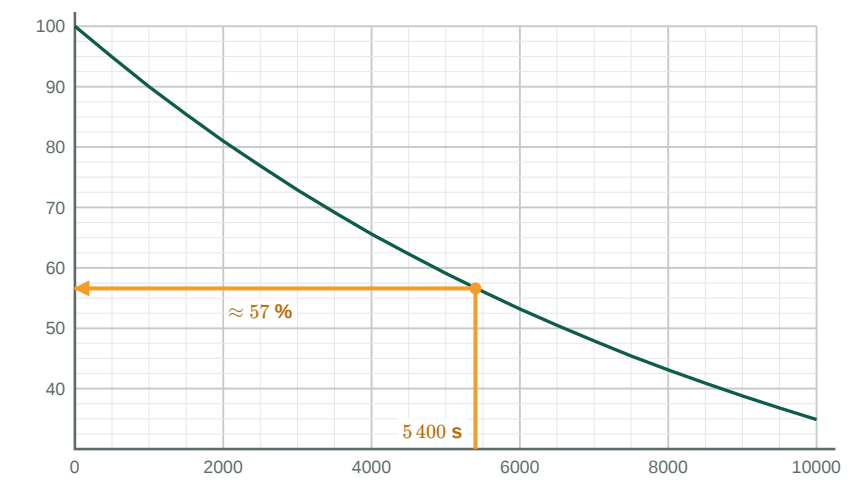
Données utiles attente d'environ 1 h après l'injection, puis environ 30 min pour les clichés et leur analyse

Durée écoulée depuis l'injection : $t = 1\text{ h} + 30\text{ min} = 90 \times 60 = 5\,400\text{ s}$.

Lecture graphique : à l'abscisse 5 400 s, l'ordonnée de la courbe est proche de 57 %.

Vérification par le calcul : $\dfrac{N(t)}{N_0} = \mathrm{e}^{-\lambda t} = \mathrm{e}^{-\ln(2)\times 5400/6500} = 0{,}56$, résultat compatible avec la lecture.

Il reste environ $57\ \%$ du traceur radioactif à la fin de l'analyse des clichés.



Q.14 · Courbe du sujet (agrandie) : lecture à la fin de l'analyse des clichés

PIÈGE

Prendre 2 h, la sortie de l'hôpital, ou seulement 30 min : l'analyse des clichés s'achève 1 h 30 min après l'injection, origine des dates.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

90×60 → $5\,400$

$e^{\frac{(-\ln(2)) \times 5400}{6500}}$ → ≈ 0.5622294

Q.15 Calculer la durée nécessaire pour qu'il reste moins de 1 % de traceur radioactif dans le corps du patient. Commenter cette valeur.

Données utiles $t_{1/2} \approx 6{,}5 \times 10^3$ s (Q.12) ; $\lambda = \dfrac{\ln(2)}{t_{1/2}}$ (Q.13)

On cherche t tel que $\dfrac{N(t)}{N_0} < 0{,}01$, soit $\mathrm{e}^{-\lambda t} < 0{,}01$.

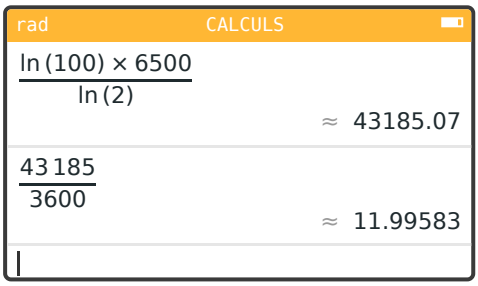
La fonction ln est croissante : $-\lambda t < \ln(0{,}01)$, soit $\lambda t > \ln(100)$, d'où

$$t > \frac{\ln(100)}{\lambda} = \frac{\ln(100)}{\ln(2)} \times t_{1/2} = \frac{\ln(100)}{\ln(2)} \times 6{,}5 \times 10^3 = 4{,}3 \times 10^4 \text{ s}$$

Commentaire : le patient quitte l'hôpital 2 h après l'injection, alors que près de la moitié du traceur est encore présente. La radioactivité devient toutefois très faible en une demi-journée : l'exposition du patient et de son entourage reste brève.

$t \approx 4{,}3 \times 10^4$ s, soit environ 12 h.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
En divisant par $-\lambda$, nombre négatif, le sens de l'inégalité change. Calculer avec λ arrondi à $1{,}1 \times 10^{-4}$ s^{-1} donne $4{,}2 \times 10^4$ s : garder la valeur non arrondie.

COMPRENDRE
1 % correspond à un peu moins de 7 demi-vies, car $2^7 = 128$. Le graphique s'arrête vers 32 000 s, où il reste encore plus de 3 % : la lecture graphique est impossible, le calcul s'impose.

L'acide azélaïque dans les cosmétiques

Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Écrire la formule topologique de la molécule d'acide azélaïque.

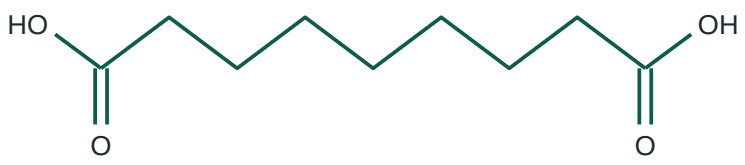
Données utiles $HOOC-(CH_2)_7-COOH$

La chaîne compte $7+2=9$ atomes de carbone : les sept groupes CH_2 et le carbone de chacun des deux groupes $-COOH$.

Formule topologique : voir le schéma (ligne brisée de neuf sommets, $=O$ et $-OH$ sur les deux carbones extrêmes).

PIÈGE
Ne tracer que sept sommets. Les carbones des deux groupes $-COOH$ font partie de la chaîne : il faut neuf sommets, soit huit segments.

MÉTHODE
Chaque sommet ou extrémité est un carbone ; seuls les hétéroatomes (ici O) et leurs H s'écrivent.



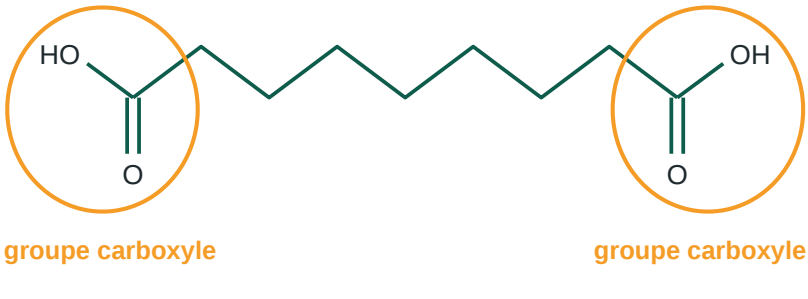
Q.1 · Formule topologique de l'acide azélaïque : neuf atomes de carbone, un groupe $-COOH$ à chaque extrémité

Q2 Entourer le ou les groupes caractéristiques et nommer les fonctions chimiques associées.

La molécule porte deux groupes caractéristiques identiques, un à chaque bout de la chaîne : deux groupes carboxyle $-COOH$ (entourés sur le schéma).

Deux groupes carboxyle : la molécule possède deux fois la fonction **acide carboxylique**.

PIÈGE
Entourer séparément $C=O$ et $-OH$ et répondre « cétone et alcool ». Portés par le même carbone, ils forment un seul groupe : le groupe carboxyle.



Q2 · Les deux groupes caractéristiques entourés

Q3 Nommer la molécule d'acide azélaïque en nomenclature officielle, à l'aide des règles fournies.

- Chaîne de 9 atomes de carbone : le nom dérive du nonane.
- Famille des acides carboxyliques : nom de la forme « acide …oïque ».
- Deux groupes carboxyle identiques : on place « di » devant le suffixe.

Acide nonanedioïque.

COMPRENDRE
Les deux groupes sont forcément en bout de chaîne (carbones 1 et 9) : aucun indice de position n'est nécessaire. Le « e » de nonane est conservé parce que « dioïque » commence par une consonne.

Q4 Établir le diagramme de prédominance de l'acide azélaïque.

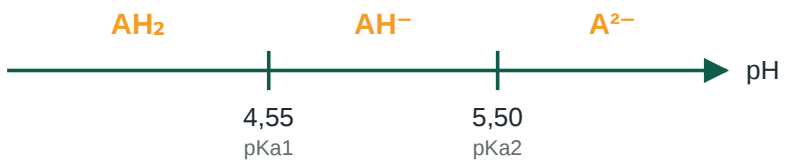
Données utiles $\mathrm{p}K_{a1} = 4{,}55$; $\mathrm{p}K_{a2} = 5{,}50$

Le diacide $\mathrm{AH_2}$ intervient dans deux couples : $\mathrm{AH_2/AH^-}$ de $\mathrm{p}K_{a1} = 4{,}55$, puis $\mathrm{AH^-/A^{2-}}$ de $\mathrm{p}K_{a2} = 5{,}50$.

Pour chaque couple, l'acide prédomine si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$ et la base si $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$.

$\mathrm{AH_2}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 4{,}55$; $\mathrm{AH^-}$ pour $4{,}55 < \mathrm{pH} < 5{,}50$; $\mathrm{A^{2-}}$ pour $\mathrm{pH} > 5{,}50$.

MÉTHODE
Sur un axe de pH, placer les $\mathrm{p}K_a$ dans l'ordre croissant. Les espèces se rangent de la plus acide (à gauche) à la plus basique (à droite) : chaque frontière fait perdre un $\mathrm{H^+}$.



Q4 · Diagramme de prédominance de l'acide azélaïque

Q5 Déterminer la forme prédominante de l'acide azélaïque dans un milieu de pH égal à 4,7 (pH moyen de la peau du visage).

$4{,}55 < 4{,}7 < 5{,}50$: le pH est compris entre $\mathrm{p}K_{a1}$ et $\mathrm{p}K_{a2}$.

À $\mathrm{pH} = 4{,}7$, la forme prédominante est $\mathrm{AH^-}$.

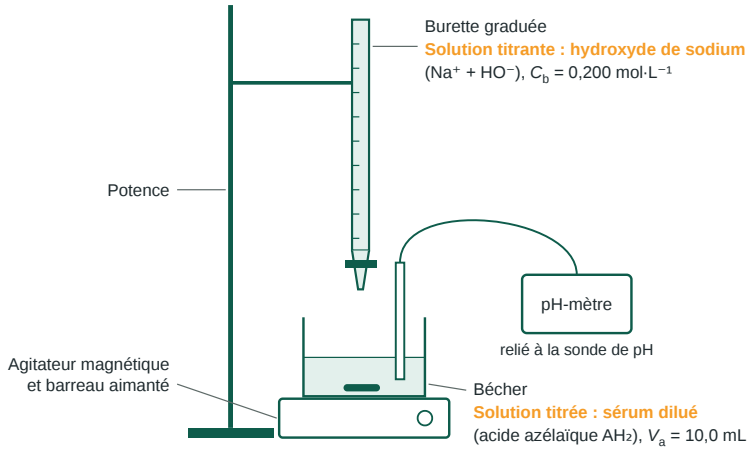
COMPRENDRE
Prédominer signifie seulement être plus concentré que les autres formes : si près de $\mathrm{p}K_{a1}$, $\mathrm{AH_2}$ reste abondant.

Q6 Schématiser et légender le montage du titrage, en indiquant le nom et la position des espèces chimiques titrante et titrée.

- Dans la burette graduée : la solution titrante d'hydroxyde de sodium $(\mathrm{Na^+ + HO^-})$, l'espèce titrante étant l'ion hydroxyde $\mathrm{HO^-}$.
- Dans le bécher : la solution titrée, $V_a = 10{,}0$ mL de sérum dilué ; l'espèce titrée est l'acide azélaïque $\mathrm{AH_2}$.
- Sonde de pH plongée dans le bécher et reliée au pH-mètre ; agitateur magnétique et barreau aimanté.

Titrant $\mathrm{HO^-}$ dans la burette, titré $\mathrm{AH_2}$ dans le bécher : voir le schéma légendé.

PIÈGE
Un schéma sans légende, ou sans le pH-mètre et sa sonde, perd des points : c'est la sonde qui fait de ce titrage un suivi pH-métrique.



Q6 · Montage du titrage suivi par pH-métrie

Q7 Montrer, en exploitant les résultats du titrage, que la masse d'acide azélaïque dans un flacon de sérum vaut 3,3 g.

Données utiles $\mathrm{AH_2 + 2\,HO^- \longrightarrow A^{2-} + 2\,H_2O}$; $C_b = 0{,}200\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_a = 10{,}0$ mL ; fiole de 100,0 mL ; $M = 188{,}2\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

Volume à l'équivalence. Le saut de pH correspond au maximum de la courbe $\dfrac{\mathrm{d\,pH}}{\mathrm{d}V}$: on lit $V_E = 17{,}3$ mL.

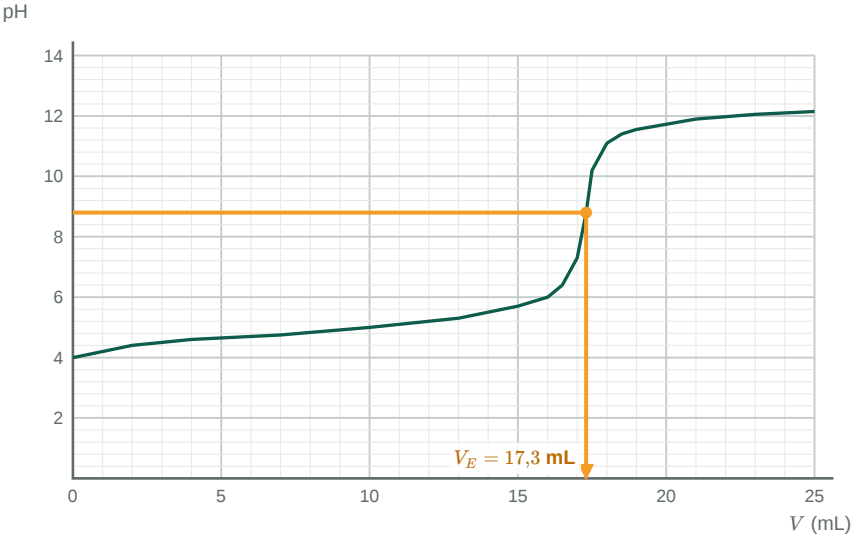
Quantité titrée. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $\dfrac{n(\mathrm{AH_2})}{1} = \dfrac{n_E(\mathrm{HO^-})}{2}$, donc dans la prise d'essai :

$$n_a = \frac{C_b\,V_E}{2} = \frac{0{,}200 \times 17{,}3 \times 10^{-3}}{2} = 1{,}73 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

Retour au flacon. La fiole de 100,0 mL contient tout l'acide du flacon et la prise d'essai n'en est que le dixième (10,0 mL sur 100,0 mL) :

$$m = n_a \times \frac{100{,}0}{10{,}0} \times M = 1{,}73 \times 10^{-3} \times 10{,}0 \times 188{,}2 = 3{,}26\ \mathrm{g}$$

$m = 3{,}26\ \mathrm{g} \approx 3{,}3\ \mathrm{g}$: on retrouve la valeur annoncée.



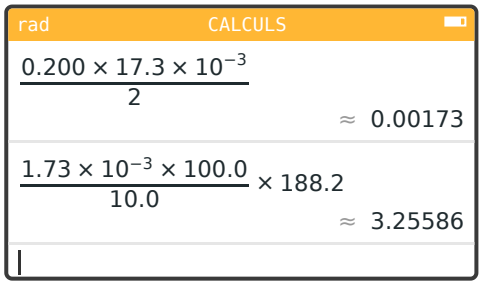
Q7 · Figure 1 du sujet (courbe de pH), avec la lecture du volume à l'équivalence

PIÈGE
Écrire $n(\mathrm{AH_2}) = n(\mathrm{HO^-})$: il faut deux ions $\mathrm{HO^-}$ par molécule de diacide, d'où la division par 2. Oublier le facteur 10 de la fiole donne $0{,}33$ g.

COMPRENDRE
Le volume du flacon (30,0 mL) ne sert pas ici : tout le flacon est dans la fiole. Les données ont trois chiffres significatifs, d'où $3{,}26$ g ; l'énoncé arrondit à deux.

MÉTHODE
Sans courbe dérivée, on utilise la méthode des tangentes parallèles : deux tangentes de part et d'autre du saut, puis la parallèle équidistante, qui coupe la courbe au point d'équivalence.

À LA CALCULATRICE



Q8 En déduire si le pourcentage massique déterminé expérimentalement est cohérent avec l'indication donnée par le site de vente.

Données utiles $m = 3{,}26$ g (Q7) ; $d_{\text{sérum}} = 1{,}03$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $V_{\text{sérum}} = 30{,}0$ mL ; $u(w) = 0{,}4\ \%$; valeur annoncée : $10\ \%$

Masse de sérum dans le flacon : $m_{\text{sérum}} = d_{\text{sérum}}\,\rho_{\text{eau}}\,V_{\text{sérum}} = 1{,}03 \times 1{,}00 \times 30{,}0 = 30{,}9$ g.

Pourcentage massique mesuré :

$$w = \frac{m}{m_{\text{sérum}}} = \frac{3{,}26}{30{,}9} = 0{,}105 = 10{,}5\ \%$$

Comparaison à la valeur de référence $w_{\text{réf}} = 10\ \%$:

$$\frac{|w - w_{\text{réf}}|}{u(w)} = \frac{|10{,}5 - 10|}{0{,}4} \approx 1{,}3$$

Le quotient vaut environ $1{,}3$, inférieur à 2 : le pourcentage mesuré ($10{,}5\ \%$) est compatible avec les $10\ \%$ annoncés.

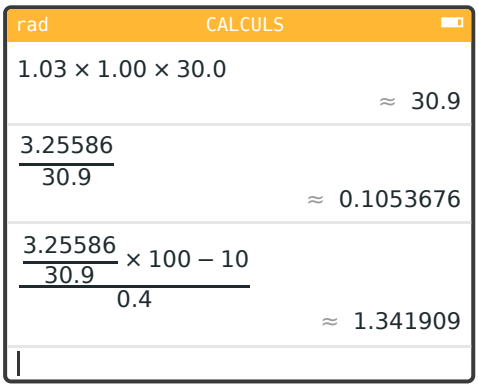
PIÈGE

Diviser par 30,0 : ce sont des millilitres, pas la masse du sérum. Avec la valeur arrondie $3{,}3$ g, on obtient $10{,}7\ \%$ et un quotient de $1{,}7$: la conclusion est la même.

COMPRENDRE

Par convention, une mesure est jugée compatible avec la référence si le quotient ne dépasse pas 2, c'est-à-dire si l'écart reste inférieur à deux incertitudes-types.

À LA CALCULATRICE



Une synthèse non totale, l'estérification

Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q.1 Choisir, parmi les trois montages proposés, un montage adapté à la synthèse de l'ester. Indiquer l'intérêt de l'élément 1 et celui de l'élément 2 sur ce montage.

Le protocole demande un chauffage à reflux : le réfrigérant à eau doit être vertical, placé au-dessus du ballon. C'est le cas du montage 2.

Élément 1 : le chauffe-ballon. Il élève la température du mélange ; la température étant un facteur cinétique, la transformation est plus rapide.

Élément 2 : le réfrigérant à eau (à boules). Les vapeurs s'y liquéfient et retombent dans le ballon : on chauffe sans perdre de matière.

Montage 2 : l'élément 1 chauffe pour accélérer la transformation, l'élément 2 condense les vapeurs pour éviter les pertes de matière.

PIÈGE
Nommer les éléments ne suffit pas : la question porte sur leur intérêt. Il faut dire « accélérer » pour le chauffage et « éviter les pertes » pour le réfrigérant.

COMPRENDRE
Le montage 1 est une distillation : les vapeurs condensées partent dans l'erlenmeyer au lieu de revenir dans le ballon. Le montage 3 comporte un tube latéral qui recueille une partie du liquide condensé.

Q.2 Indiquer le rôle de l'acide sulfurique et l'intérêt de son ajout.

L'acide sulfurique ne figure pas dans l'équation de la réaction : il n'est ni un réactif ni un produit. Il joue le rôle de catalyseur.

Son ajout augmente la vitesse de la transformation : l'état final est atteint en moins de temps.

L'acide sulfurique est un catalyseur : il accélère l'estérification sans apparaître dans son équation.

PIÈGE
Un catalyseur ne change pas l'état final : le taux d'avancement à l'équilibre et la masse d'ester obtenue restent les mêmes, seule la durée diminue.

Q.3 Calculer la masse d'ester qui serait obtenue si la réaction était totale.

Données utiles $n_0 = 0{,}150$ mol d'acide et autant d'alcool ; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 et les réactifs sont introduits en même quantité n_0 : le mélange est stœchiométrique. Si la réaction était totale, $n_0 - x_{max} = 0$, donc $x_{max} = n_0 = 0{,}150$ mol et $n_{ester,max} = x_{max} = n_0$.

Masse molaire de l'ester $\mathrm{CH_3COOC_2H_5}$, de formule brute $\mathrm{C_4H_8O_2}$:

$$M_{ester} = 4 \times 12{,}0 + 8 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 88{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$$

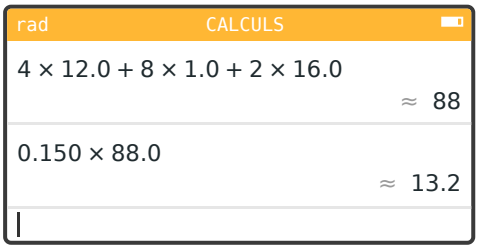
$$m_{max} = n_0 \times M_{ester} = 0{,}150 \times 88{,}0$$

$$\boxed{m_{max} = 13{,}2\ \mathrm{g}}$$

PIÈGE
Se tromper en comptant les atomes de l'ester : $\mathrm{CH_3COOC_2H_5}$ contient 4 C, 8 H et 2 O.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme $0{,}150$ mol et $88{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



Q.4 Rappeler la définition du taux d'avancement τ, puis montrer que la constante d'équilibre s'écrit $K = \dfrac{\tau^2}{(1-\tau)^2}$.

Données utiles $Q_r = \dfrac{n_{ester} \times n_{eau}}{n_{acide} \times n_{alcool}}$; $x_{max} = n_0$ (Q.3)

Le taux d'avancement final est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$.

Pour un avancement x, le tableau d'avancement donne $n_{acide} = n_{alcool} = n_0 - x$ et $n_{ester} = n_{eau} = x$.

À l'état final, le système est à l'équilibre : $Q_{r,éq} = K$, soit

$$K = \frac{x_f \times x_f}{(n_0 - x_f) \times (n_0 - x_f)} = \frac{x_f^2}{(n_0 - x_f)^2}$$

Comme $x_{max} = n_0$, on a $x_f = \tau\, n_0$:

$$K = \frac{\tau^2 n_0^2}{(n_0 - \tau\, n_0)^2} = \frac{\tau^2 n_0^2}{n_0^2(1-\tau)^2}$$

$\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$ et, après simplification par n_0^2, $K = \dfrac{\tau^2}{(1-\tau)^2}$

PIÈGE
Oublier de dire que $Q_r = K$ seulement à l'équilibre, ou ne pas justifier $x_{max} = n_0$.

MÉTHODE
Pour relier K à τ : exprimer les quantités finales avec x_f, écrire $Q_{r,éq} = K$, puis remplacer x_f par $\tau\, x_{max}$. La quantité initiale se simplifie quand le mélange est stœchiométrique.

Q.5 Choisir, en justifiant, parmi les deux solutions τ_1 et τ_2, le taux d'avancement final réel de la réaction.

Données utiles $K = 4{,}0$; $\tau_1 = 0{,}67$; $\tau_2 = 2{,}0$

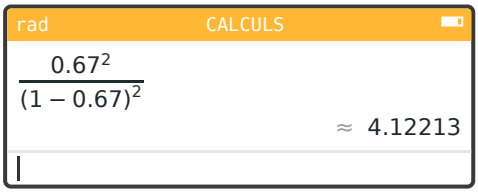
L'avancement final ne peut pas dépasser l'avancement maximal : $x_f \leqslant x_{max}$, donc $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} \leqslant 1$.

La solution $\tau_2 = 2{,}0$ est supérieure à 1 : elle n'a pas de sens chimique (la quantité d'acide restante $n_0(1-\tau)$ serait négative).

$\tau = \tau_1 = 0{,}67$: la transformation n'est pas totale.

COMPRENDRE
Vérification : avec $\tau_1 = 0{,}67$, on retrouve $K \approx 4$ (4,1 à cause de l'arrondi de $2/3$). Les deux racines vérifient l'équation ; seule la chimie permet de trancher.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Déterminer la masse d'ester réellement produite lors de cette synthèse.

Données utiles $\tau = 0{,}67$ (Q.5) ; $n_0 = 0{,}150$ mol ; $M_{ester} = 88{,}0$ g · mol^{-1} (Q.3)

À l'état final, $n_{ester} = x_f = \tau \times x_{max} = \tau \times n_0$.

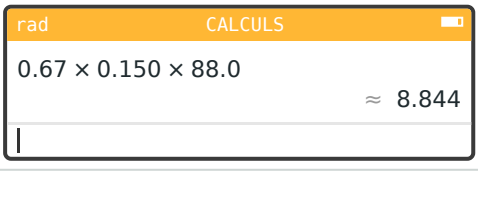
$$m_{ester} = \tau \times n_0 \times M_{ester} = 0{,}67 \times 0{,}150 \times 88{,}0$$

$m_{ester} = 8{,}8$ g

PIÈGE
Donner 13,2 g, la masse maximale : la réaction s'arrête à l'équilibre, bien avant la disparition des réactifs.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, car $\tau = 0{,}67$ n'en a que deux. On peut aussi écrire $m_{ester} = \tau \times m_{max}$ avec $m_{max} = 13{,}2$ g (Q.3).

À LA CALCULATRICE



Q.7 Proposer deux modifications des paramètres expérimentaux permettant d'augmenter le rendement de cette estérification.

Première modification : introduire l'un des deux réactifs (l'acide ou l'alcool) en large excès. L'excès augmente le dénominateur de Q_r : l'équilibre est atteint pour un avancement plus grand, le réactif limitant est davantage consommé.

Seconde modification : éliminer l'un des produits au fur et à mesure de sa formation, par exemple l'eau avec le montage 3. Q_r reste alors inférieur à K et la transformation se poursuit dans le sens direct.

Mettre un réactif en excès ; retirer l'eau (ou l'ester) du milieu au cours de la synthèse.

PIÈGE
Proposer d'ajouter du catalyseur ou de chauffer plus longtemps : ces choix jouent sur la durée de la synthèse, pas sur le rendement une fois l'équilibre atteint.

COMPRENDRE
Tant que $Q_r < K$, le système évolue dans le sens direct. Augmenter le dénominateur de Q_r ou diminuer son numérateur repousse l'équilibre vers la formation d'ester.