Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Physique-Chimie

Session 2026 • Centres étrangers • Jour 2

Code sujet **26-PYCJ2G11** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Le cyclotron Arronax
15 réponses • sujet p. 3–6

Exercice 2 — L’acide azélaïque dans les cosmétiques
8 réponses • sujet p. 7–9

Exercice 3 — Une synthèse non totale, l’estérification
7 réponses • sujet p. 10–11

Les numéros, parties et pages renvoient au sujet original. Chaque réponse rappelle la consigne, explique la démarche et donne le résultat.

Exercice 1

11 points

Le cyclotron Arronax

1. Le fonctionnement d'un cyclotron

Question Q.1.

Sujet p. 3

> Montrer que la valeur de la norme du poids de l'ion H^- est négligeable devant la valeur de la norme de la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'applique sur l'ion.

On compare les normes du poids et de la force électrique. Le champ entre les plaques vaut :

$$E = \frac{U}{d} = \frac{65 \times 10^{3}}{5,0 \times 10^{-3}} = 1,3 \times 10^{7}\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}.$$

Le poids a pour norme $P = mg$, et la force électrique pour norme $F_e = |q|E = eE$. Ainsi :

$$P = 1,67 \times 10^{-27} \times 9,81 = 1,64 \times 10^{-26}\ \text{N}, \qquad F_e = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,3 \times 10^{7} = 2,08 \times 10^{-12}\ \text{N}.$$

Le rapport $P/F_e \simeq 7,9 \times 10^{-15}$ est très inférieur à 1 : le poids est négligeable devant la force électrique.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $P \simeq 1,6 \times 10^{-26}$ N et $F_e \simeq 2,1 \times 10^{-12}$ N : le poids de l'ion H^- est négligeable devant la force électrique.

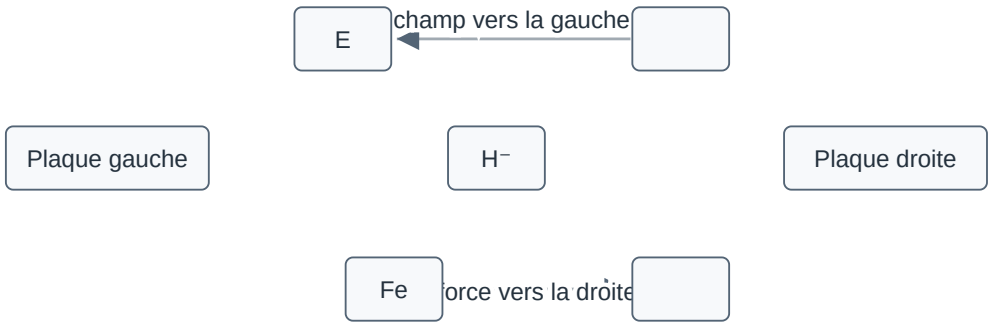
Question Q.2.

Sujet p. 3

> Reproduire, sur la copie, la figure 2. Compléter ce schéma en faisant apparaître, sans souci d'échelle, la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'applique sur l'ion H^- et le champ électrique $\vec{E}$ présent dans tout l'espace entre les plaques.

Sur la figure, le mouvement de l'ion H^- est dirigé vers la droite, selon $+x$. La force électrique qui l'accélère est donc dirigée vers la droite. Or $\vec{F_e} = q\vec{E}$ et la charge de H^- est négative : le champ électrique est de sens opposé, donc dirigé vers la gauche. Il faut représenter ces directions dans l'espace entre les plaques.

Zone accélératrice : sens du champ et de la force



L'ion H^- se déplace vers la droite ; sa charge négative donne une force opposée au champ.

RÉPONSE À RETENIR

Tracer entre les plaques $\vec{E}$ vers la gauche et, appliquée à l'ion H^-, $\vec{F}_e$ vers la droite.

Question Q.3.

Sujet p. 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.

Dans le référentiel supposé galiléen, la deuxième loi de Newton s'écrit $m\vec{a} = \vec{F}_e$, le poids étant négligeable. La force est dirigée selon $+x$ et sa norme vaut $F_e = eE = eU/d$. Par projection sur l'axe x :

$$a_x = \frac{F_e}{m} = \frac{eU}{md}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$a_x = \dfrac{eU}{md}$, dans le sens $+x$.

Question Q.4.

Sujet p. 3

Montrer alors que la vitesse et la position de l'ion H^- lors du passage dans la zone accélératrice, sur l'axe x, peuvent s'écrire : $v_x(t) = (e\cdot U)/(m\cdot d) \times t$ et $x(t) = 1/2 \times (e\cdot U)/(m\cdot d) \times t^2$.

L'accélération est constante : $a_x = eU/(md)$. Avec les conditions initiales $v_x(0) = 0$ et $x(0) = 0$, une première intégration donne :

$$v_x(t) = v_x(0) + a_x t = \frac{eU}{md}\, t.$$

Une deuxième intégration donne :

$$x(t) = x(0) + v_x(0)t + \frac{1}{2}a_x t^2 = \frac{1}{2}\frac{eU}{md}\,t^2.$$

RÉPONSE À RETENIR

$v_x(t) = \dfrac{eU}{md}\,t$ et $x(t) = \dfrac{1}{2}\dfrac{eU}{md}\,t^2$.

Question Q.5.

Sujet p. 3, 4

Calculer la valeur de la vitesse v_sortie de l'ion H⁻ après le premier passage dans la zone accélératrice lorsque x(t) = d.

À la sortie, $x = d$. La relation de position donne $d = \frac{1}{2}(eU/md)t^2$, puis $t = d\sqrt{2m/(eU)}$. En remplaçant dans l'expression de la vitesse, on obtient $v_{\text{sortie}} = \sqrt{2eU/m}$. Numériquement :

$$v_{\text{sortie}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 65 \times 10^{3}}{1,67 \times 10^{-27}}} = 3,53 \times 10^{6}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La vitesse après le premier passage dans la zone accélératrice vaut $v_{\text{sortie}} \simeq 3,5 \times 10^{6}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question Q.6.

Sujet p. 3, 4

Vérifier que l'énergie cinétique de l'ion H⁻ à la sortie de la zone accélératrice vaut E_C = 1,0 × 10⁻¹⁴ J.

L'énergie cinétique de l'ion à la sortie vaut $E_C = \frac{1}{2}mv_{\text{sortie}}^2$. Comme $v_{\text{sortie}}^2 = 2eU/m$, on trouve :

$$E_C = \frac{1}{2}m\frac{2eU}{m} = eU = 1,6 \times 10^{-19} \times 65 \times 10^{3} = 1,04 \times 10^{-14}\ \text{J}.$$

Avec les deux chiffres significatifs des données, cette valeur s'arrondit à $1,0 \times 10^{-14}$ J.

RÉPONSE À RETENIR

$E_C = 1,04 \times 10^{-14}$ J, soit $1,0 \times 10^{-14}$ J à deux chiffres significatifs : la valeur demandée est vérifiée.

Question Q.7.

Sujet p. 4

À chaque passage entre les plaques, les particules gagnent une énergie cinétique égale à 1,0 × 10⁻¹⁴ J. Elles n'acquièrent pas d'énergie cinétique dans les cavités. En sortie du cyclotron, les particules possèdent une énergie cinétique de 70 MeV. Calculer le nombre de tours complets que les particules ont effectués avant la sortie du cyclotron. Présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

Convertissons l'énergie finale en joules :

$$70\ \text{MeV} = 70 \times 10^{6} \times 1,60 \times 10^{-19} = 1,12 \times 10^{-11}\ \text{J}.$$

Chaque passage entre les plaques apporte $1,0 \times 10^{-14}$ J. Le nombre de passages accélérateurs est donc :

$$\frac{1,12 \times 10^{-11}}{1,0 \times 10^{-14}} = 1120.$$

Un tour complet comporte deux passages entre les plaques. Le nombre de tours complets correspondant est donc $1120/2 = 560$.

RÉPONSE À RETENIR

Les particules ont effectué $\boxed{560}$ tours complets avant leur sortie du cyclotron, d'après le gain d'énergie indiqué à chaque passage.

2. La production de radioisotope et la scintigraphie

Question Q.8.

Sujet p. 4, 5

Pour former le fluor 18, les protons H^+ (représentation symbolique ^1_1H) accélérés par le cyclotron bombardent une cible riche en oxygène 18. Lors de cette réaction, un neutron (noté ^1_0n) est également produit. Écrire l'équation de la réaction nucléaire conduisant à la formation du fluor 18.

On conserve le nombre de nucléons et le numéro atomique. À gauche, le nombre de nucléons vaut $18 + 1 = 19$ et la charge nucléaire totale vaut $8 + 1 = 9$. Le neutron produit emporte un nucléon et une charge nulle ; le noyau restant a donc $A = 18$ et $Z = 9$, c'est le fluor 18.

RÉPONSE À RETENIR

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

Question Q.9.

Sujet p. 5

Le fluor 18 contenu dans le traceur radioactif se désintègre par radioactivité β^+. Donner le nom et le symbole de la particule émise lors d'une désintégration radioactive β^+. Écrire l'équation de la transformation nucléaire qui correspond à cette désintégration.

La particule caractéristique d'une désintégration β^+ est un positon (ou positron), de symbole $^0_{+1}\mathrm{e}$, également noté β^+. Le nombre de nucléons reste inchangé et le numéro atomique diminue de 1 : le fluor 18 devient donc de l'oxygène 18. L'équation complète de la désintégration inclut également un neutrino électronique.

RÉPONSE À RETENIR

La particule émise est le positon $^0_{+1}\mathrm{e}$. L'équation de désintégration est :

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

Question Q.10.

Sujet p. 4, 5

Cette désintégration est accompagnée de l'émission de photons dont l'énergie moyenne est de 511 keV. Calculer la longueur d'onde correspondant à l'énergie moyenne transportée par le photon. Justifier alors l'utilisation d'une gamma-caméra pour analyser ce rayonnement.

Convertissons l'énergie du photon en joules :

$$E = 511\ \mathrm{keV} = 511 \times 10^3 \times 1,60 \times 10^{-19} = 8,176 \times 10^{-14}\ \mathrm{J}.$$

La relation $E = hc/\lambda$ conduit à $\lambda = hc/E$. Avec $c = 3,00 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$:

$$\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{8,176 \times 10^{-14}} = 2,43 \times 10^{-12}\ \mathrm{m}.$$

Cette longueur d'onde se situe dans le domaine des rayons gamma indiqué sur le spectre. Une gamma-caméra est donc adaptée à l'analyse de ce rayonnement.

RÉPONSE À RETENIR

$\lambda \simeq 2,4 \times 10^{-12}\ \mathrm{m} = 2,4\ \mathrm{pm}$. Le rayonnement est gamma ; l'utilisation d'une gamma-caméra est adaptée.

Question Q.11.

Sujet p. 5

Pour la suite, on note N_0 le nombre de noyaux de fluor 18 contenu dans le traceur à l'instant t = 0 s, correspondant au moment de l'injection, et N(t) le nombre de noyaux de fluor 18 présent dans le corps du patient à la date t. L'équation différentielle donnant N(t) en fonction du temps est dN(t)/dt = −λ × N(t), avec λ constante de radioactivité. Montrer que l'expression N(t) = N_0 × e⁻λ×t est bien solution de l'équation différentielle précédente.

En dérivant l'expression proposée, avec N_0 et λ constants :

$$\frac{dN(t)}{dt} = N_0 \frac{d}{dt}\left(e^{-\lambda t}\right) = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N(t).$$

Elle vérifie donc bien l'équation différentielle. De plus, $N(0) = N_0 e^0 = N_0$, comme attendu à l'instant de l'injection.

RÉPONSE À RETENIR

$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ est bien solution de l'équation différentielle et respecte la condition initiale $N(0) = N_0$.

Question Q.12.

Sujet p. 6

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

Le temps de demi-vie est la durée au bout de laquelle il reste la moitié des noyaux radioactifs initiaux : $N(t_{1/2})/N_0 = 0,50$, soit 50 % sur le graphique. On lit l'abscisse du point de la courbe correspondant à 50 %. La lecture du graphique donne environ $6,5 \times 10^3\ \mathrm{s}$.

RÉPONSE À RETENIR

Le temps de demi-vie du fluor 18 est graphiquement $t_{1/2} \simeq 6,5 \times 10^3\ \mathrm{s}$, soit environ $1,8\ \mathrm{h}$.

Question Q.13.

Sujet p. 6

Calculer la valeur de la constante radioactive λ correspondant au fluor 18.

La relation fournie est $t_{1/2} = \ln(2)/\lambda$, donc $\lambda = \ln(2)/t_{1/2}$. Avec la lecture graphique $t_{1/2} \simeq 6,5 \times 10^3\ \mathrm{s}$:

$$\lambda = \frac{0,693}{6,5 \times 10^3} = 1,07 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$\lambda \simeq 1,1 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$ (soit environ $1,07 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$ avec la lecture graphique retenue).

Question Q.14.

Sujet p. 5, 6

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

L'analyse des clichés dure environ 30 min et suit l'attente d'environ 1 h. Le temps écoulé depuis l'injection à la fin de l'analyse est donc $t = 1,5\ \mathrm{h} = 5400\ \mathrm{s}$. La proportion restante donnée par le modèle est $N(t)/N_0 = e^{-\lambda t}$. Avec $\lambda \simeq 1,07 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$:

$$100e^{-(1{,}07\times10^{-4})(5400)} \simeq 56$$

RÉPONSE À RETENIR

Après l'analyse des clichés, il reste environ $56\ \%$ du traceur radioactif selon le modèle de décroissance fourni.

Question Q.15.

Sujet p. 5, 6

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

Pour qu'il reste moins de 1 % du traceur, il faut $e^{-\lambda t} < 0,01$. En prenant le logarithme et en utilisant $\lambda > 0$, cela revient à :

$$t > \frac{\ln(100)}{\lambda}.$$

Avec $\lambda \simeq 1,07 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$:

$$t > \frac{\ln(100)}{1,07 \times 10^{-4}} \simeq 4,31 \times 10^{4}\ \mathrm{s} \simeq 12,0\ \mathrm{h}.$$

Cette durée est comptée depuis l'injection. Elle est bien supérieure aux 2 h au bout desquelles le patient quitte l'hôpital : la décroissance se poursuit après la fin de l'examen et la sortie.

RÉPONSE À RETENIR

Il faut attendre un peu plus de $4,3 \times 10^{4}\ \mathrm{s}$, soit environ 12 h après l'injection, pour qu'il reste moins de 1 % du traceur radioactif selon le modèle.

Exercice 2

5 points

L’acide azélaïque dans les cosmétiques

1. Propriétés de l’acide azélaïque

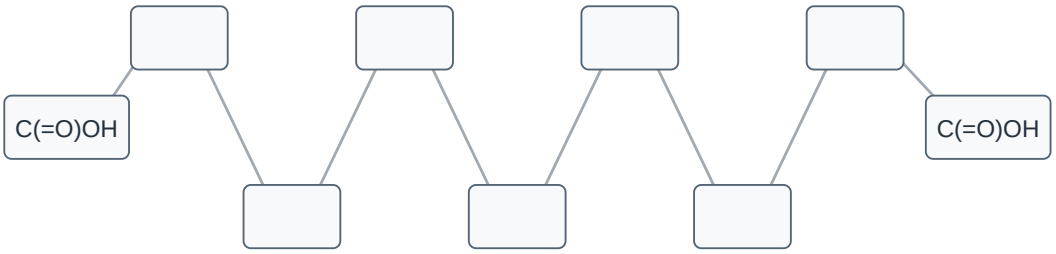
Question Q.1.

Sujet p. 7

> La formule de l’acide azélaïque est HOOC – $(CH_2)_7$ – COOH. Écrire la formule topologique de cette molécule.

Dans la formule topologique, la chaîne carbonée est représentée par un zigzag : chaque sommet non étiqueté correspond à un atome de carbone. La molécule comporte sept carbones de groupes CH_2 entre les deux carbones des groupes carboxyle, soit neuf carbones au total.

Formule topologique de l’acide azélaïque



Les sept sommets non étiquetés représentent les sept carbones des groupes CH_2. Les carbones terminaux appartiennent aux groupes carboxyle.

RÉPONSE À RETENIR

La formule topologique est une chaîne linéaire de neuf carbones, avec un groupe carboxyle à chaque extrémité :

Question Q.2.

Sujet p. 7

> Entourer le(s) groupe(s) caractéristique(s) et nommer les fonctions chimiques associées.

Dans la formule HOOC–$(CH_2)_7$–COOH, chacun des deux groupes terminaux –COOH est un groupe carboxyle. Ces deux groupes identiques correspondent à des fonctions acide carboxylique.

RÉPONSE À RETENIR

Il faut entourer les deux groupes carboxyle –COOH. La molécule possède deux fonctions acide carboxylique.

Question Q.3.

Sujet p. 7

Exploiter les règles de nomenclature fournies pour nommer la molécule d'acide azélaïque en nomenclature officielle.

La chaîne principale comprend les sept carbones des groupes CH_2 et les deux carbones des groupes carboxyle, soit neuf atomes de carbone : le nom de base est donc dérivé de nonane. Comme la molécule possède deux fonctions acide carboxylique, on utilise le préfixe « di » devant le suffixe correspondant.

RÉPONSE À RETENIR

Le nom officiel est **acide nonanedioïque**.

Question Q.4.

Sujet p. 7

L'acide azélaïque est un diacide faible noté AH_2. Ses deux acidités, marquées par la perte d'un premier proton H^+ puis d'un second, peuvent être caractérisées par deux valeurs de pK_a : $pK_{a1} = 4{,}55$ et $pK_{a2} = 5{,}50$. Établir le diagramme de prédominance de l'acide azélaïque.

Les deux pertes successives de proton s'écrivent $AH_2 \rightleftharpoons AH^- + H^+$, puis $AH^- \rightleftharpoons A^{2-} + H^+$. Pour chaque couple acide/base, la frontière de prédominance est au pH égal au pK_a. Entre les deux pK_a, la forme intermédiaire AH^- prédomine.

RÉPONSE À RETENIR

Le diagramme de prédominance est :

Domaine de pH	Forme prédominante
pH < 4,55	AH_2
4,55 < pH < 5,50	AH^-
pH > 5,50	A^{2-}

Aux frontières, les deux formes du couple correspondant sont en proportions égales : AH_2 et AH^- à pH = 4,55 ; AH^- et A^{2-} à pH = 5,50.

Question Q.5.

Sujet p. 7

Déterminer la forme prédominante de l'acide azélaïque dans un milieu dont le pH vaut 4,7 (pH moyen de la peau du visage).

On compare le pH du milieu aux deux pK_a : $4{,}55 < 4{,}7 < 5{,}50$. Le pH est donc compris entre les deux frontières du diagramme de prédominance.

RÉPONSE À RETENIR

La forme prédominante à pH = 4,7 est **AH^-**.

2. Dosage de l’acide azélaïque dans une solution commerciale

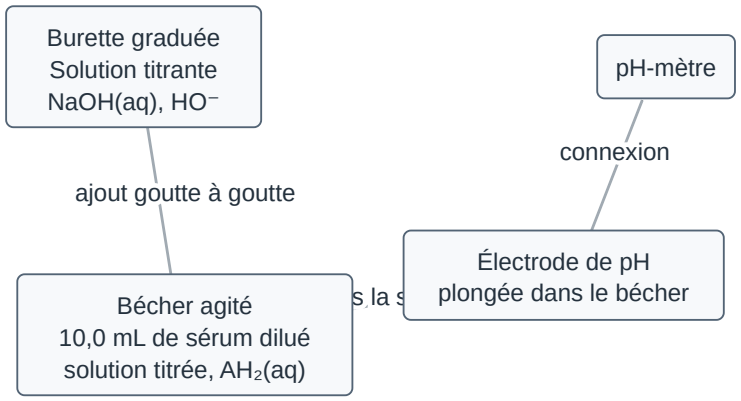
Question Q.6.

Sujet p. 8, 9

> Schématiser et légender le montage permettant de réaliser ce titrage, en indiquant le nom et la position des espèces chimiques titrante et titrée.

La solution titrante est la solution d’hydroxyde de sodium, qui apporte les ions HO^- ; elle se place dans une burette graduée. La solution titrée est l’aliquote de 10,0 mL de sérum dilué, contenant l’acide azélaïque ; elle se place dans un bécher ou un erlenmeyer. Pour le suivi pH-métrique, une électrode de pH est plongée dans ce récipient, qui est agité.

Montage de titrage pH-métrique



La solution titrante est dans la burette ; la solution titrée et l’électrode se trouvent dans le récipient agité.

RÉPONSE À RETENIR

Le montage de titrage comporte une burette contenant la solution titrante d’hydroxyde de sodium au-dessus d’un récipient contenant la solution titrée de sérum dilué. L’électrode de pH est plongée dans la solution titrée.

Question Q.7.

Sujet p. 8, 9

> L’équation de la réaction support du titrage est : $AH_2(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\ H_2O(l)$. Montrer, en exploitant les résultats du titrage, que la masse d’acide azélaïque dans un flacon de sérum vaut 3,3 g. Présenter la démarche suivie, même si elle n’a pas abouti.

Sur la courbe de suivi pH-métrique, le maximum de la courbe dérivée et le point d’inflexion de la courbe de pH situent l’équivalence vers $V_E \approx 17{,}5$ mL. La réaction est $AH_2(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\ H_2O(l)$: à l’équivalence, 2 mol de HO^- réagissent avec 1 mol de AH_2.

Dans l’aliquote de 10,0 mL, la quantité d’acide est donc :

$n_{aliquote}(AH_2) = C_b V_E/2 = (0{,}200\ mol{\cdot}L^{-1} \times 17{,}5 \times 10^{-3}\ L)/2 = 1{,}75 \times 10^{-3}\ mol.$

La fiole contient 100,0 mL de solution diluée, préparée avec la totalité du flacon. Le facteur entre le volume total et l'aliquote est 100,0/10,0 = 10. Ainsi, la quantité totale d'acide dans le flacon est $10 \times 1{,}75 \times 10^{-3} = 1{,}75 \times 10^{-2}$ mol. Avec M = 188,2 g·mol^{-1} :

$m = nM = 1{,}75 \times 10^{-2}$ mol × 188,2 g·mol^{-1} = 3,29 g.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La lecture graphique donne $V_E \approx 17{,}5$ mL. En tenant compte de la stœchiométrie de la réaction et du facteur de dilution égal à 10, on obtient une masse d'acide azélaïque dans le flacon de **3,3 g** (à deux chiffres significatifs).

Question Q.8.

Sujet p. 8, 9

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

La masse volumique du sérum vaut $d_{sérum}\rho_{eau}$. La masse du contenu du flacon est donc :

$m_{sérum} = 1{,}03 \times 1{,}00$ g·mL^{-1} × 30,0 mL = 30,9 g.

Le pourcentage massique mesuré est alors $w = (3{,}3 \text{ g} / 30{,}9 \text{ g}) \times 100 \approx 10{,}7$ %. Avec la valeur non arrondie de la masse obtenue à la question précédente, on trouve pratiquement la même valeur.

Le quotient de compatibilité indiqué dans le sujet vaut, avec $w \approx 10{,}7$ %, $w_{ref} = 10{,}0$ % et $u(w) = 0{,}4$ % : $|w - w_{ref}|/u(w) = |10{,}7 - 10{,}0|/0{,}4 \approx 1{,}75$. Le sujet ne précise pas de seuil d'interprétation ; en adoptant le critère usuel selon lequel un quotient inférieur à 2 traduit une compatibilité, le résultat est compatible avec la valeur annoncée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le pourcentage massique déterminé expérimentalement est d'environ **10,7 %**. Le quotient de compatibilité est d'environ 1,75 ; selon le critère usuel de compatibilité inférieur à 2, il est **cohérent avec l'indication de 10 % en masse**.

Exercice 3

4 points

Une synthèse non totale, l'estérification

1. Mode opératoire de l'estérification

Question Q.1.

Sujet p. 10, 11

> Choisir parmi les 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 le montage choisi.

Le protocole indique un chauffage à reflux : le montage doit permettre de chauffer le mélange tout en condensant les vapeurs, afin qu'elles retombent dans le ballon. Le montage adapté est le **montage 2**, où le réfrigérant est placé verticalement au-dessus du ballon.

L'élément 1 est le dispositif de chauffage : il chauffe le mélange réactionnel. L'élément 2 est le réfrigérant à eau : il refroidit les vapeurs, qui se condensent et retombent dans le ballon. L'eau de refroidissement entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut.

RÉPONSE À RETENIR

Le montage adapté est le **montage 2**. L'élément 1 chauffe le mélange ; l'élément 2 condense les vapeurs et permet leur retour dans le ballon.

Question Q.2.

Sujet p. 11

> Indiquer le rôle de l'acide sulfurique $H_2SO_4(aq)$ et l'intérêt de son ajout.

L'acide sulfurique joue le rôle de **catalyseur acide** : il accélère l'estérification sans être consommé dans l'équation-bilan. Son ajout permet donc d'atteindre plus rapidement l'état d'équilibre, mais ne modifie pas à lui seul la composition de cet équilibre. Comme il est concentré, il peut aussi contribuer à favoriser la formation de l'ester en fixant une partie de l'eau produite.

RÉPONSE À RETENIR

L'acide sulfurique catalyse l'estérification : il accélère la réaction et permet d'atteindre plus rapidement l'équilibre. Concentré, il peut aussi contribuer à favoriser la formation de l'ester en fixant une partie de l'eau.

Question Q.3.

Sujet p. 10, 11

> Calculer la valeur de la masse d'ester si la réaction était totale. Le candidat peut éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement.

L'équation de la réaction est :

$$\mathrm{CH_3COOH(l) + C_2H_5OH(l) \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5(l) + H_2O(l).}$$

Les réactifs sont introduits en quantités égales et réagissent dans les proportions stœchiométriques 1:1. Ainsi, $x_{\max} = 0{,}150\ \mathrm{mol}$.

État	Acide éthanoïque	Éthanol	Éthanoate d'éthyle	Eau formée
Initial	0,150 mol	0,150 mol	0	0
Évolution	−x	−x	+x	+x
Final si la réaction est totale	0	0	0,150 mol	0,150 mol

L'ester formé a pour formule $\mathrm{C_4H_8O_2}$. Sa masse molaire vaut $M = 4 \times 12{,}0 + 8 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 88{,}0\ \mathrm{g\,mol^{-1}}$. Si la réaction était totale, la masse produite serait $m = nM = 0{,}150 \times 88{,}0 = 13{,}2\ \mathrm{g}$.

RÉPONSE À RETENIR

Si la réaction était totale, la masse d'ester produite serait $\boxed{13{,}2\ \mathrm{g}}$.

2. L'estérification : une réaction non totale

Question Q.4.

Sujet p. 11

Pour cette réaction, le quotient de réaction Q_r peut s'écrire : $Q_r = (n_{ester} \times n_{eau})/(n_{acide} \times n_{alcool})$. Rappeler la définition du taux d'avancement τ. Montrer ensuite que la constante d'équilibre K de l'estérification étudiée peut s'écrire : $K = \tau^2/(1 - \tau)^2$.

Le taux d'avancement final est défini par $\tau = \dfrac{x_f}{x_{\max}}$. Ici, $x_{\max} = 0{,}150\ \mathrm{mol}$. À l'avancement final x_f, les quantités de matière sont $n_{\text{ester}} = n_{\text{eau}} = x_f$ et $n_{\text{acide}} = n_{\text{alcool}} = 0{,}150 - x_f$.

À l'équilibre, $Q_r = K$. En utilisant l'expression de Q_r donnée dans le sujet :

$$K = \frac{x_f^2}{(0{,}150 - x_f)^2} = \frac{(0{,}150\tau)^2}{[0{,}150(1-\tau)]^2} = \frac{\tau^2}{(1-\tau)^2}.$$

Il y a une erreur de signe dans le polynôme imprimé ensuite dans le sujet. En développant la relation correcte, on obtient $K(1-\tau)^2 = \tau^2$, soit $(K-1)\tau^2 - 2K\tau + K = 0$, et non $(K-1)\tau^2 + 2K\tau + K = 0$. Les solutions indiquées à la question Q.5 sont cohérentes avec le polynôme corrigé.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{\tau = \dfrac{x_f}{x_{\max}}}$ et $\boxed{K = \dfrac{\tau^2}{(1-\tau)^2}}$. Le développement donne $\boxed{(K-1)\tau^2 - 2K\tau + K = 0}$; le signe du terme médian dans le polynôme imprimé est erroné.

Question Q.5.

Sujet p. 11

Pour l'estérification étudiée, à la température du milieu réactionnel, la constante d'équilibre K est égale à 4,0. Le traitement mathématique du polynôme précédent donne deux solutions : $\tau_1 = 0{,}67$ et $\tau_2 = 2{,}0$. Choisir, en justifiant, parmi les deux solutions τ_1 et τ_2, le taux d'avancement final réel de cette réaction.

Par définition, $\tau = x_f/x_{\max}$, où x_f ne peut pas dépasser $x_{\max}$. Un taux d'avancement physique vérifie donc $0 \leq \tau \leq 1$. La solution $\tau_2 = 2{,}0$ est impossible. La solution $\tau_1 = 0{,}67$ est admissible. Elle est également cohérente avec la relation de la question Q.4 : pour $K = 4{,}0$, on a $\tau/(1-\tau) = 2$, d'où $\tau = 2/3 \approx 0{,}67$.

RÉPONSE À RETENIR

Le taux d'avancement final réel est $\boxed{\tau_f = 0{,}67}$. La valeur $2{,}0$ est impossible, car un taux d'avancement ne peut pas dépasser 1.

Question Q.6.

Sujet p. 10, 11

> Déterminer la valeur de la masse d'ester produit lors de cette synthèse.

Le coefficient stœchiométrique de l'ester vaut 1, donc $n_{\text{ester}} = x_f = \tau_f x_{\max}$. Avec la valeur arrondie fournie, $\tau_f = 0{,}67$:

$$n_{\text{ester}} = 0{,}67 \times 0{,}150 = 0{,}1005 \text{ mol}.$$

La masse molaire de l'éthanoate d'éthyle est $M = 88{,}0 \text{ g mol}^{-1}$. Ainsi, $m = nM = 0{,}1005 \times 88{,}0 = 8{,}844 \text{ g}$. Le taux étant donné avec deux chiffres significatifs, on arrondit le résultat à environ $8{,}8 \text{ g}$.

RÉPONSE À RETENIR

La masse d'ester produite est $\boxed{m \approx 8{,}8 \text{ g}}$.

Question Q.7.

Sujet p. 11

> Un chimiste souhaite optimiser le rendement ρ de cette estérification en changeant des paramètres expérimentaux. Proposer deux modifications permettant d'atteindre cet objectif.

Pour augmenter le rendement d'une réaction limitée par un équilibre, on peut favoriser le déplacement de l'équilibre vers les produits. Deux possibilités sont d'utiliser un réactif en excès, par exemple l'éthanol, et d'éliminer un produit au fur et à mesure de sa formation, par exemple l'eau. Ces modifications favorisent la formation supplémentaire d'ester. En revanche, ajouter davantage de catalyseur accélérerait la réaction, mais n'augmenterait pas à lui seul le rendement final à l'équilibre.

RÉPONSE À RETENIR

Deux modifications possibles sont **d'utiliser un réactif en excès** (par exemple l'éthanol) et **d'éliminer l'eau formée**. Elles déplacent l'équilibre vers la formation de l'ester et augmentent le rendement.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2026/spe-physique-chimie-2026-centres-etranger-2-sujet-officiel.pdf
© FormaV EI • Proposition de correction, distincte d'un corrigé officiel.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.