Corrigé complet — Bac 2021 Métropole Juin Sujet 1

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

Ex 1	**Missions sur la Lune** Énergie mécanique · Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution · Chute libre verticale	10 pts	1 h 45	11 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse de Cannizaro** Groupes caractéristiques · Oxydoréduction · Facteurs cinétiques · Extraction liquide-liquide · Couple acide-base et prédominance · Chromatographie sur couche mince	5 pts	55 min	10 questions	p. 7
Ex 3	**Degré d'hydratation du chlorure de magnésium** Dissolution d'un solide ionique · Dilution · Titrage conductimétrique · Loi de Kohlrausch · Équivalence · Quantité de matière et masse molaire	5 pts	55 min	6 questions	p. 11
Ex 4	**Le pomelo** Titrage pH-métrique · Équivalence et méthode des tangentes · Indicateur coloré · Dosage par étalonnage spectrophotométrique · Réactif limitant et quantité de matière · Concentration en masse	5 pts	55 min	8 questions	p. 14

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

Missions sur la Lune

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 1 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

1.1 Calculer la durée passée en orbite terrestre par l'équipage dans le vaisseau Apollo 11.

Données utiles 1,5 tour ; rayon de l'orbite $r = 6{,}56 \times 10^3$ km ; $v_h = 7{,}79 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

En 1,5 tour, le vaisseau parcourt 1,5 fois la circonférence de son orbite : $d = 1{,}5 \times 2\pi r = 3\pi r$.

Sa vitesse a une valeur constante v_h, donc $\Delta t = \dfrac{d}{v_h} = \dfrac{3\pi r}{v_h}$.

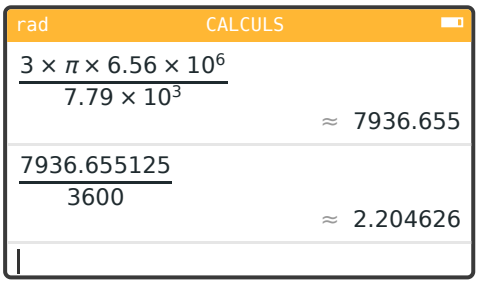
$$\Delta t = \frac{3\pi \times 6{,}56 \times 10^6}{7{,}79 \times 10^3} = 7{,}9 \times 10^3\ \text{s}$$

$\Delta t = 7{,}9 \times 10^3$ s, soit environ 2,2 h (2 h 12 min).

PIÈGE
Le rayon est donné en kilomètres alors que la vitesse est en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: il faut écrire $r = 6{,}56 \times 10^6$ m. Ne pas confondre non plus ce rayon d'orbite avec le rayon de la Terre.

COMPRENDRE
Le résultat garde autant de chiffres significatifs que la donnée la moins précise : ici « 1,5 tour » n'en a que deux, d'où $7{,}9 \times 10^3$ s et non $7{,}94 \times 10^3$ s.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Calculer la valeur de l'énergie cinétique E_c du vaisseau en orbite terrestre.

Données utiles $m_1 = 4{,}50 \times 10^4$ kg ; $v_h = 7{,}79 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

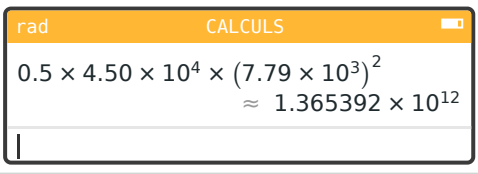
$$E_c = \frac{1}{2} m_1 v_h^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times 4{,}50 \times 10^4 \times (7{,}79 \times 10^3)^2 = 1{,}37 \times 10^{12}\ \text{J}$$

$E_c = 1{,}37 \times 10^{12}$ J

PIÈGE
Oublier le carré de la vitesse, ou n'élever au carré que 7,79 sans la puissance de dix : $(10^3)^2 = 10^6$.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 En déduire la valeur de l'énergie mécanique E_m du vaisseau en orbite terrestre.

Données utiles $E_p = -2{,}74 \times 10^{12}$ J ; $E_c = 1{,}37 \times 10^{12}$ J (1.2.1)

$$E_m = E_c + E_p$$

$$E_m = 1{,}37 \times 10^{12} + (-2{,}74 \times 10^{12})$$

$E_m = -1{,}37 \times 10^{12}$ J

COMPRENDRE
Une énergie mécanique négative signale un système lié à la Terre : le vaisseau reste en orbite. Sur une orbite circulaire on retrouve d'ailleurs $E_m = -E_c = E_p/2$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.37 \times 10^{12} - 2.74 \times 10^{12}$
$\approx -1.37 \times 10^{12}$

1.3.1 Déterminer l'énergie minimale que doit fournir Saturn V pour mettre le vaisseau en orbite terrestre. Conclure, sachant que Saturn V peut fournir une énergie de l'ordre de 5×10^{12} J.

Données utiles $E_{m0} = -2{,}81 \times 10^{12}$ J ; $E_m = -1{,}37 \times 10^{12}$ J (1.2.2)

L'énergie mécanique du vaisseau passe de E_{m0} (au sol) à E_m (en orbite). La fusée doit lui apporter au minimum cette variation :

$$E_{\text{min}} = E_m - E_{m0} = -1{,}37 \times 10^{12} - (-2{,}81 \times 10^{12}) = 1{,}44 \times 10^{12} \text{ J}$$

Or $1{,}44 \times 10^{12}$ J $< 5 \times 10^{12}$ J.

$E_{\text{min}} = 1{,}44 \times 10^{12}$ J : Saturn V a la capacité de mettre Apollo 11 en orbite terrestre.

PIÈGE
Calculer $E_{m0} - E_m$ donne une énergie négative. Une énergie à fournir est une variation « état final moins état initial », ici positive.

COMPRENDRE
C'est un minimum : la fusée doit aussi élever sa propre masse, son carburant, et compenser les frottements de l'air. D'où la marge entre $1{,}44 \times 10^{12}$ J et 5×10^{12} J.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$-1.37 \times 10^{12} - (-2.81 \times 10^{12})$
$\approx 1.44 \times 10^{12}$

1.3.2 Expliquer pourquoi l'énergie cinétique du vaisseau avant le décollage n'est pas nulle dans le référentiel géocentrique.

Dans le référentiel géocentrique, la Terre tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles. Le vaisseau posé sur le pas de tir est entraîné par cette rotation : il décrit un cercle autour de l'axe des pôles, à raison d'un tour par jour.

Sa vitesse v n'est donc pas nulle dans ce référentiel, et comme $E_c = \frac{1}{2} m_1 v^2$:

Avant le décollage, le vaisseau est immobile par rapport au sol mais en mouvement dans le référentiel géocentrique : $E_c \neq 0$.

COMPRENDRE
Une vitesse dépend toujours du référentiel. Dans le référentiel terrestre (lié au sol), le vaisseau est au repos et son énergie cinétique est nulle.

2.1 En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du vaisseau Apollo 11 à l'altitude h_L.

Système {vaisseau}, de masse m_2 constante ; référentiel centré sur la Lune, supposé galiléen.

Seule force : l'attraction gravitationnelle de la Lune, dirigée du vaisseau vers le centre de la Lune, donc selon $\vec{n}$:

$$\vec{F}_{L/V} = \frac{G\, M_L\, m_2}{(R_L + h_L)^2}\, \vec{n}$$

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m_2\, \vec{a}$, soit $\frac{G\, M_L\, m_2}{(R_L + h_L)^2}\, \vec{n} = m_2\, \vec{a}$.

$$\vec{a} = \frac{G\, M_L}{(R_L + h_L)^2}\, \vec{n}$$

PIÈGE
La distance entre le vaisseau et le centre de la Lune est $R_L + h_L$, pas h_L. Et la masse à faire figurer dans la force est M_L, celle de l'astre attracteur.

COMPRENDRE
La masse m_2 se simplifie : l'accélération ne dépend pas de la masse du vaisseau. Elle est dirigée vers le centre de la Lune (centripète).

2.2 Montrer que la norme de la vitesse du vaisseau à l'altitude h_L a pour expression $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_L}{R_L + h_L}}$.

Données utiles $\vec{a}$ (2.1)

Le mouvement est circulaire, de rayon $R_L + h_L$. Dans le repère de Frenet $(\vec{n}, \vec{t})$, où $\vec{t}$ est le vecteur unitaire tangent à la trajectoire :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R_L + h_L}\vec{n} + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{t}$$

Le mouvement étant uniforme, $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$. En identifiant avec l'expression de la question 2.1 selon $\vec{n}$:

$\dfrac{v^2}{R_L + h_L} = \dfrac{G\,M_L}{(R_L + h_L)^2}$, donc $v^2 = \dfrac{G\,M_L}{R_L + h_L}$.

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M_L}{R_L + h_L}}$, ce qui est l'expression attendue.

PIÈGE
Écrire directement $a = v^2/r$ sans citer le repère de Frenet ni le caractère uniforme du mouvement : la justification est notée.

MÉTHODE
Orbite circulaire : 1) deuxième loi de Newton ; 2) accélération dans le repère de Frenet ; 3) identification. Selon $\vec{t}$: mouvement uniforme. Selon $\vec{n}$: expression de la vitesse.

2.3 Calculer la période de révolution T du vaisseau Apollo 11, puis déterminer le nombre de tours effectués par Michael Collins autour de la Lune pendant le séjour des deux autres astronautes sur la Lune.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$; $M_L = 7{,}34 \times 10^{22}$ kg ; $R_L = 1{,}73 \times 10^3$ km ; $h_L = 110$ km ; séjour : 21 h 36 min ; v (2.2)

Pendant une période T, le vaisseau parcourt la circonférence $2\pi(R_L + h_L)$ à la vitesse constante v :

$$T = \frac{2\pi(R_L + h_L)}{v} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_L + h_L)^3}{G\,M_L}}$$

Avec $R_L + h_L = 1{,}73 \times 10^6 + 110 \times 10^3 = 1{,}84 \times 10^6$ m :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(1{,}84 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 7{,}34 \times 10^{22}}} = 7{,}09 \times 10^3\ \mathrm{s}$$

soit environ 1,97 h.

Durée du séjour : $\Delta t = 21 \times 3600 + 36 \times 60 = 7{,}776 \times 10^4$ s.

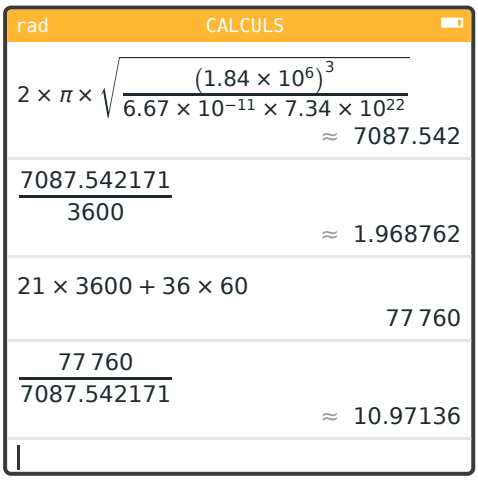
Nombre de tours : $N = \dfrac{\Delta t}{T} = \dfrac{7{,}776 \times 10^4}{7{,}09 \times 10^3} = 11{,}0$

$T = 7{,}09 \times 10^3$ s ; Michael Collins a fait environ 11 tours autour de la Lune.

PIÈGE
Convertir R_L et h_L en mètres avant de les additionner, et convertir 21 h 36 min en secondes : 21 h 36 min ne vaut pas 21,36 h mais 21,6 h.

COMPRENDRE
On peut aussi calculer d'abord $v = 1{,}63 \times 10^3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, puis T. La masse m_2 du vaisseau n'intervient nulle part.

À LA CALCULATRICE



3.1 En utilisant la modélisation numérique, déterminer l'expression numérique de la vitesse $v_y(t)$ de John Young. Calculer la valeur de sa vitesse initiale v_{0y}.

Données utiles $y(t) = -0{,}86\,t^2 + 1{,}4\,t$ (y en m, t en s)

La vitesse est la dérivée de la position par rapport au temps : $v_y(t) = \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$.

$v_y(t) = -0{,}86 \times 2\,t + 1{,}4 = -1{,}72\,t + 1{,}4$ (avec v_y en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et t en s).

À la date $t = 0$: $v_{0y} = v_y(0) = -1{,}72 \times 0 + 1{,}4$.

$v_y(t) = -1{,}72\,t + 1{,}4$ et $v_{0y} = 1{,}4\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

COMPRENDRE
v_{0y} est positive : au début du saut, John Young se déplace vers le haut, dans le sens de l'axe Oy. C'est aussi la pente de la tangente à la courbe $y(t)$ à l'origine.

3.2 Montrer que la valeur de l'intensité de la pesanteur lunaire g_L est d'environ $1{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Données utiles $v_y(t) = -1{,}72\,t + 1{,}4$ (3.1)

Système {John Young et son équipement}, de masse m ; référentiel lunaire (lié au sol), supposé galiléen.

Chute libre : la seule force est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}_L$. La deuxième loi de Newton donne $m\,\vec{g}_L = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}_L$.

Le vecteur $\vec{g}_L$ est vertical vers le bas et l'axe Oy est orienté vers le haut : $a_y = -g_L$.

Or $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = -1{,}72\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$, d'où $g_L = 1{,}72\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

$g_L = 1{,}72\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} \approx 1{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$, valeur attendue.

PIÈGE
Annoncer $g_L = -1{,}72\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Une intensité de pesanteur est positive : c'est la coordonnée a_y qui est négative, parce que l'axe est orienté vers le haut.

MÉTHODE
En chute libre, $y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_{0y}\,t$. On identifie avec la modélisation : $\dfrac{1}{2}\,g_L = 0{,}86$, soit $g_L = 1{,}72\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

3.3 Déterminer la hauteur et la durée d'un saut vertical qu'aurait réalisé John Young avec son équipement sur la Terre, avec la même vitesse initiale v_{0y}, dans le cadre du modèle de la chute libre. Commenter.

Données utiles $g_T = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$; $v_{0y} = 1{,}4\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (3.1) ; sur la Lune : hauteur 60 cm, durée d'environ 1,7 s (figure 2)

Sur la Terre, le même raisonnement qu'à la question 3.2 donne $a_y = -g_T$. Par intégrations successives, avec $v_y(0) = v_{0y}$ et $y(0) = 0$:

$$v_y(t) = -g_T\,t + v_{0y} \qquad y(t) = -\frac{1}{2}\,g_T\,t^2 + v_{0y}\,t$$

Durée du saut. John Young retombe au sol quand $y(t) = 0$ avec $t \neq 0$: $-\dfrac{1}{2}\,g_T\,t + v_{0y} = 0$, soit

$$t_{\text{saut}} = \frac{2\,v_{0y}}{g_T} = \frac{2 \times 1{,}4}{9{,}81} = 0{,}29\ \mathrm{s}$$

Hauteur du saut. Au sommet, la vitesse s'annule : $v_y(t_S) = 0$, soit $t_S = \dfrac{v_{0y}}{g_T} = 0{,}14\ \mathrm{s}$ (la moitié de la durée du saut). Alors

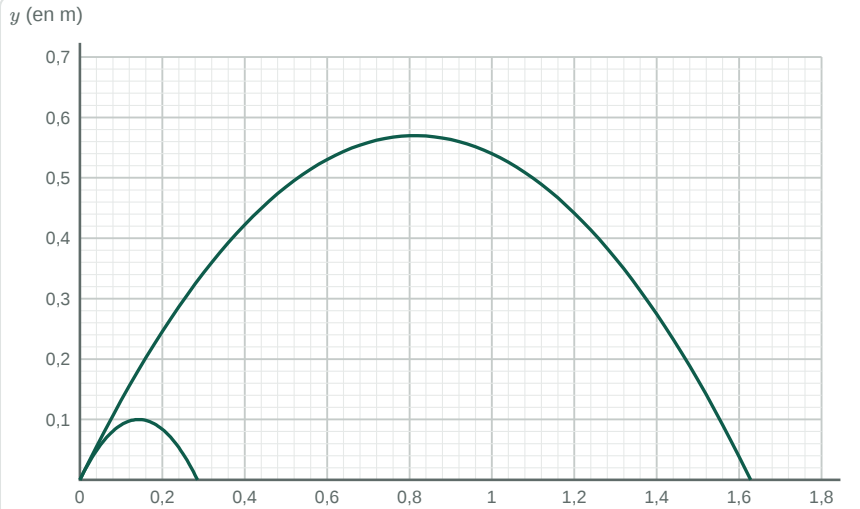
$$y_{\max} = y(t_S) = \frac{v_{0y}^2}{2\,g_T} = \frac{1{,}4^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}10\ \mathrm{m}$$

Commentaire. Sur la Terre, le saut n'atteindrait que 10 cm et durerait 0,29 s, contre 60 cm et environ 1,7 s sur la Lune : il serait à peu près six fois moins haut et six fois plus court, car la pesanteur terrestre est environ six fois plus intense ($g_T / g_L \approx 5{,}8$). C'est la faible pesanteur lunaire qui permet un tel saut malgré une masse de 150 kg.

Sur la Terre : $y_{\max} = 0{,}10\ \mathrm{m}$ (10 cm) et $t_{\text{saut}} = 0{,}29\ \mathrm{s}$, soit environ six fois moins que sur la Lune.

PIÈGE
Confondre la durée de la montée (0,14 s) et la durée du saut (0,29 s). Autre erreur : faire intervenir la masse de 150 kg, alors qu'en chute libre le mouvement n'en dépend pas.

COMPRENDRE
Hauteur et durée sont inversement proportionnelles à g : $y_{\max} = v_{0y}^2/(2g)$ et $t_{\text{saut}} = 2v_{0y}/g$. Diviser g par six multiplie donc les deux par six.



3.3 · Même vitesse initiale v_{0y} : saut sur la Lune (grande courbe, modélisation du sujet) et saut sur la Terre (petite courbe, 10 cm en 0,29 s)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2 \times 1.4}{9.81} \approx 0.285423$

$\frac{1.4}{9.81} \approx 0.1427115$

$\frac{1.4^2}{2 \times 9.81} \approx 0.09989806$

$\frac{9.81}{1.7} \approx 5.770588$

Synthèse de Cannizzaro

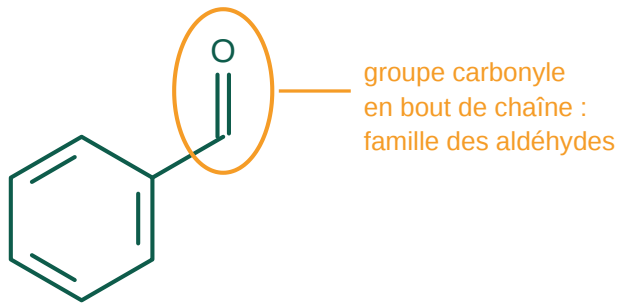
Bac 2021 Métropole Juin Sujet 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Recopier la formule topologique du benzaldéhyde, entourer le groupe caractéristique et nommer la famille fonctionnelle correspondante.

Formule topologique : voir le schéma. Le groupe entouré est le groupe carbonyle $C{=}O$; son atome de carbone, en bout de chaîne, porte un atome d'hydrogène.

Le benzaldéhyde appartient à la famille des **aldéhydes**.

PIÈGE
Répondre « cétone » : le groupe carbonyle est le même, mais dans une cétone le carbone est lié à deux atomes de carbone. Ici il est lié à un seul carbone et à un H, non dessiné en formule topologique.



1.1 · Formule topologique du benzaldéhyde, groupe caractéristique entouré

1.2 Justifier, en identifiant les couples oxydant / réducteur, que la réaction modélisant la synthèse de Cannizzaro est une dismutation.

Données utiles couples $C_6H_5{-}COO^-$ / $C_6H_5{-}CHO$ et $C_6H_5{-}CHO$ / $C_6H_5{-}CH_2{-}OH$

Dans le couple $C_6H_5{-}CHO$ / $C_6H_5{-}CH_2{-}OH$, le benzaldéhyde est l'**oxydant** : il est réduit en alcool benzylique.

Dans le couple $C_6H_5{-}COO^-$ / $C_6H_5{-}CHO$, le benzaldéhyde est le **réducteur** : il est oxydé en ion benzoate.

Dans l'équation, une molécule de benzaldéhyde sur les deux est réduite, l'autre est oxydée.

Le benzaldéhyde réagit à la fois comme oxydant et comme réducteur : c'est une dismutation.

COMPRENDRE
Dans l'écriture d'un couple, l'oxydant est toujours à gauche. Le benzaldéhyde est à gauche dans un couple et à droite dans l'autre : c'est ce qui permet la dismutation.

2 Justifier les choix expérimentaux (solution concentrée d'hydroxyde de potassium, montage à reflux de la figure 1) pour optimiser la synthèse.

Solution concentrée : la concentration d'un réactif (ici $\mathrm{HO^-}$) est un facteur cinétique ; plus elle est élevée, plus la transformation est rapide. L'ion $\mathrm{HO^-}$ est en outre apporté en excès, ce qui favorise la consommation du benzaldéhyde.

Montage à reflux : le chauffage élève la température, autre facteur cinétique, donc la transformation est accélérée. Le réfrigérant à boules condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon : il n'y a pas de perte de matière.

Agitation vigoureuse : le benzaldéhyde est insoluble dans l'eau ; agiter multiplie les contacts entre les deux réactifs.

Ces choix rendent la synthèse plus rapide (concentration, température) sans perte de réactifs ni de produits (reflux).

PIÈGE
Écrire que chauffer « augmente le rendement ». La température et la concentration sont ici des facteurs cinétiques : elles réduisent la durée de la transformation. Le reflux, lui, évite les pertes.

3.1 Effectuer un schéma légendé de l'ampoule à décanter en précisant les phases présentes et leurs compositions respectives après décantation.

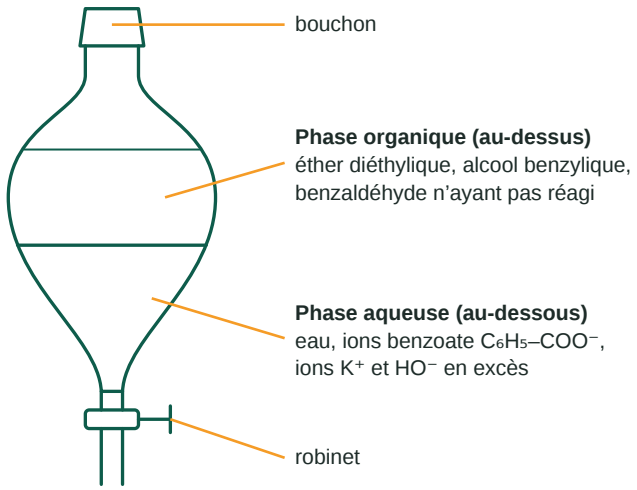
Données utiles $d_{\text{éther}} = 0{,}71$; tableau des solubilités

L'éther diéthylique est moins dense que l'eau ($0{,}71 < 1$) : la phase organique surnage.

L'alcool benzylique et le benzaldéhyde restant, insolubles dans l'eau et solubles dans l'éther, sont dans la phase organique. L'ion benzoate, insoluble dans l'éther et très soluble dans l'eau, est dans la phase aqueuse.

En haut : phase organique (éther, alcool benzylique) ; en bas : phase aqueuse (eau, ions benzoate, $\mathrm{K^+}$ et $\mathrm{HO^-}$).

PIÈGE
Placer la phase aqueuse en haut par habitude. La position se justifie toujours par la densité du solvant organique : au-dessus si $d < 1$, au-dessous si $d > 1$.



3.1 · Ampoule à décanter après décantation

3.2 Justifier l'utilisation de l'éther diéthylique pour effectuer la séparation des produits de la synthèse.

Données utiles tableau des solubilités

L'éther diéthylique n'est pas miscible à l'eau : on obtient deux phases, séparables par décantation.

L'alcool benzylique est soluble dans l'éther et insoluble dans l'eau, alors que l'ion benzoate est insoluble dans l'éther et très soluble dans l'eau.

Les deux produits se retrouvent dans deux phases différentes : l'éther extrait l'alcool benzylique et laisse l'ion benzoate dans l'eau.

MÉTHODE
Un solvant extracteur se justifie par deux critères : il n'est pas miscible au solvant de départ, et l'espèce à extraire y est bien plus soluble que dans ce solvant de départ.

3.3 Justifier que l'on veuille obtenir un pH inférieur à 2 pour la phase aqueuse.

Données utiles $\mathrm{p}K_A(\mathrm{C_6H_5{-}COOH/C_6H_5{-}COO^-}) = 4{,}2$

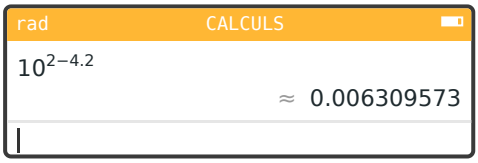
La phase aqueuse contient l'ion benzoate, base du couple. Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, c'est la forme acide qui prédomine.

Avec $\mathrm{pH} < 2$, on est plus de deux unités sous le $\mathrm{p}K_A$: $\dfrac{[\mathrm{C_6H_5{-}COO^-}]}{[\mathrm{C_6H_5{-}COOH}]} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A} < 10^{-2{,}2}$, soit moins de 1 %.

À $\mathrm{pH} < 2$, l'ion benzoate est presque entièrement converti en acide benzoïque, peu soluble dans l'eau, qui précipite (produit B).

COMPRENDRE
Sur un diagramme de prédominance, la frontière est à $\mathrm{pH} = 4{,}2$. Juste en dessous, les deux formes coexistent ; il faut s'en éloigner nettement pour que la conversion soit quasi totale.

À LA CALCULATRICE



3.4 Donner l'intérêt du bain d'eau et de glace.

Données utiles solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau : $2{,}9\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$ à 20 °C ; $1{,}7\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$ à 0 °C

La solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau diminue quand la température baisse : $1{,}7\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$ à 0 °C contre $2{,}9\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$ à 20 °C.

À froid, il reste moins d'acide benzoïque dissous : on récupère davantage de solide B.

COMPRENDRE
Le bain glacé a un second rôle : la réaction entre l'acide chlorhydrique concentré et les ions $\mathrm{HO^-}$ en excès dégage de l'énergie thermique, que le bain évacue.

3.5 Citer une technique permettant d'isoler le produit B de la phase aqueuse.

Le produit B est un solide en suspension dans un liquide.

On l'isole par **filtration** (de préférence sous pression réduite, sur entonnoir Büchner).

3.6 En utilisant le chromatogramme, conclure sur l'efficacité de l'étape de séparation des produits obtenus.

Sur une même plaque, une espèce donnée migre toujours à la même hauteur.

Le dépôt (1) du produit A et le dépôt (3) du produit B ne donnent aucune tache à la même hauteur : A ne contient pas d'acide benzoïque, B ne contient pas d'alcool benzylique.

A et B n'ont aucune espèce en commun : la séparation des deux produits est efficace.

3.7 En utilisant le chromatogramme, conclure sur la pureté des produits obtenus.

Le produit A donne deux taches : l'une à la hauteur de l'alcool benzylique commercial (2), l'autre à la hauteur du benzaldéhyde commercial (5). A contient donc de l'alcool benzylique et du benzaldéhyde qui n'a pas réagi.

Le produit B donne une seule tache, à la hauteur de l'acide benzoïque commercial (4).

Le produit A n'est pas pur (alcool benzylique mêlé de benzaldéhyde) ; le produit B est de l'acide benzoïque pur.

MÉTHODE

Lecture d'une CCM : on lit verticalement (nombre de taches d'un dépôt : pur ou mélange), puis horizontalement (même hauteur qu'un témoin : même espèce).

Degré d'hydratation du chlorure de magnésium

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution de la poudre du sachet dans l'eau.

Le solide ionique se dissocie en ses ions, qui passent en solution :

$$\mathrm{MgCl_2\,(s) \longrightarrow Mg^{2+}\,(aq) + 2\,Cl^-\,(aq)}$$

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 devant $\mathrm{Cl^-}$: il sert à la question 5. Vérifier la neutralité électrique : $(+2) + 2 \times (-1) = 0$.

COMPRENDRE
L'eau d'hydratation du solide rejoint simplement le solvant : elle peut être omise. Si on part de la formule hydratée, on ajoute $4{,}5\ \mathrm{H_2O\,(l)}$ du côté des produits.

2 Décrire précisément un protocole expérimental pour préparer 100,0 mL de solution S_2 à partir de la solution S_1.

Données utiles facteur de dilution $F = 5$; volume à préparer $V_{\text{fille}} = 100{,}0$ mL

Volume de solution S_1 à prélever : $V_{\text{mère}} = \dfrac{V_{\text{fille}}}{F} = \dfrac{100{,}0}{5} = 20{,}0\ \text{mL}$.

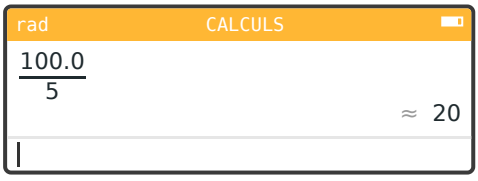
- Verser un peu de solution S_1 dans un bécher. Y prélever 20,0 mL avec une pipette jaugée de 20,0 mL munie d'une propipette.
- Introduire ce prélèvement dans une fiole jaugée de 100,0 mL.
- Ajouter de l'eau distillée jusqu'aux trois quarts, boucher et agiter.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque sur le trait), boucher et homogénéiser.

On prélève $V_{\text{mère}} = 20{,}0\ \text{mL}$ de S_1 (pipette jaugée), dilués dans une fiole jaugée de 100,0 mL.

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes : seule la verrerie jaugée (pipette, fiole) a la précision attendue, et sa contenance doit être indiquée.

MÉTHODE
Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : $C_{\text{mère}} V_{\text{mère}} = C_{\text{fille}} V_{\text{fille}}$, d'où $F = \dfrac{C_{\text{mère}}}{C_{\text{fille}}} = \dfrac{V_{\text{fille}}}{V_{\text{mère}}}$.

À LA CALCULATRICE



3 Les ions $\mathrm{Mg^{2+}}$ et $\mathrm{NO_3^-}$ sont des espèces spectatrices lors du titrage. Indiquer la signification de l'adjectif « spectatrice ».

Une espèce spectatrice est présente dans le milieu réactionnel mais n'intervient pas dans la réaction support du titrage : elle n'est ni consommée ni formée.

COMPRENDRE
Spectatrice ne veut pas dire sans effet : ces ions conduisent le courant et comptent dans la conductivité. La quantité de $\mathrm{NO_3^-}$ dans le bécher augmente même à chaque ajout de solution titrante.

4 En utilisant les conductivités molaires ioniques, justifier l'allure de la courbe obtenue et déterminer le volume à l'équivalence du titrage.

Données utiles en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$: $\lambda(Mg^{2+}) = 10{,}61$; $\lambda(Cl^-) = 7{,}63$; $\lambda(Ag^+) = 6{,}19$; $\lambda(NO_3^-) = 7{,}14$

Loi de Kohlrausch : $\sigma = \lambda(Mg^{2+})[Mg^{2+}] + \lambda(Cl^-)[Cl^-] + \lambda(NO_3^-)[NO_3^-] + \lambda(Ag^+)[Ag^+]$.

Le volume du mélange varie peu (200 mL d'eau ajoutés) : la dilution est négligée. La quantité d'ions Mg^{2+} reste constante.

Avant l'équivalence : chaque ion Ag^+ versé est consommé et fait disparaître un ion Cl^-, tandis qu'un ion NO_3^- est apporté. Un ion Cl^- est donc remplacé par un ion NO_3^- un peu moins conducteur ($7{,}14 < 7{,}63$) : σ diminue légèrement.

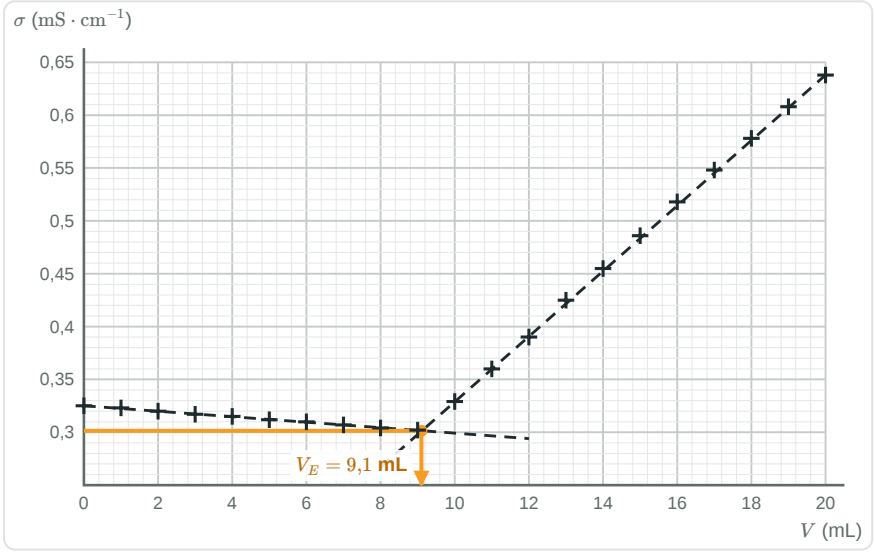
Après l'équivalence : il n'y a plus d'ions Cl^-. Les ions Ag^+ et NO_3^- versés s'accumulent : σ augmente nettement.

La courbe est donc formée de deux portions de droite. Leur point d'intersection donne l'équivalence :

$$\boxed{V_E = 9{,}1 \text{ mL}}$$

PIÈGE
Dire seulement « la conductivité baisse puis monte ». La justification attendue compare des valeurs de λ : NO_3^- remplace Cl^- avant l'équivalence, Ag^+ et NO_3^- s'ajoutent après.

MÉTHODE
Tracer à la règle une droite par portion, en s'appuyant sur les points éloignés de la rupture de pente, puis lire l'abscisse de leur intersection. Le résultat se donne à 0,1 ou 0,2 mL près.



4 · Figure 2 du sujet : les deux droites tracées et la lecture du volume à l'équivalence

5 Calculer la concentration en ions chlorure dans la solution S_1, puis montrer que la masse de chlorure de magnésium $MgCl_2$ dans le sachet analysé est $m(MgCl_2) = 10{,}8$ g.

Données utiles $C_S = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $V_2 = 10{,}0$ mL ; $V_E = 9{,}1$ mL (Q4) ; $F = 5$; $V = 1{,}00$ L ; $M_2 = 95{,}3$ g · mol^{-1}

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(Cl^-)_{\text{titré}} = n(Ag^+)_{\text{versé}}$, soit $[Cl^-]_{S_2} V_2 = C_S V_E$.

La solution S_1 est cinq fois plus concentrée que S_2 :

$$[Cl^-]_{S_1} = 5 \times \frac{C_S V_E}{V_2} = 5 \times \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times 9{,}1}{10{,}0} = 0{,}23 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

D'après l'équation de dissolution (Q1), une mole de $MgCl_2$ libère deux moles de Cl^- : $n(MgCl_2) = \dfrac{n(Cl^-)}{2} = \dfrac{[Cl^-]_{S_1} V}{2}$.

$$m(MgCl_2) = \frac{[Cl^-]_{S_1} V}{2} \times M_2 = \frac{0{,}2275 \times 1{,}00}{2} \times 95{,}3 = 10{,}8 \text{ g}$$

$$\boxed{[Cl^-]_{S_1} = 0{,}23 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ et } m(MgCl_2) = 10{,}8 \text{ g, valeur attendue.}}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 5 de la dilution (le titrage porte sur S_2) ou la division par 2 (deux ions Cl^- par $MgCl_2$). Les volumes V_E et V_2 peuvent rester en mL dans le rapport.

COMPRENDRE
C_S et V_E n'ont que deux chiffres significatifs : la concentration s'écrit $0{,}23$ mol · L^{-1}. On garde la valeur non arrondie $0{,}2275$ dans la suite du calcul.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5 \times 5.0 \times 10^{-2} \times 9.1}{10.0} \approx 0.2275$

$\dfrac{0.2275 \times 1.00}{2} \times 95.3 \approx 10.84037$

COMPRENDRE
Le résultat dépend de la lecture graphique : avec $V_E = 9{,}0$ mL on obtient 10,7 g. Dans un « montrer que », un écart aussi faible reste acceptable s'il est commenté.

6 En déduire le degré d'hydratation du chlorure de magnésium étudié. Conclure.

Données utiles $m = 20{,}3$ g ; $m(\mathrm{MgCl_2}) = 10{,}8$ g (Q5) ; $M_{\text{eau}} = 18{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_2 = 95{,}3\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La poudre ne contient que du chlorure de magnésium et de l'eau :
$m_{\text{eau}} = m - m(\mathrm{MgCl_2}) = 20{,}3 - 10{,}8 = 9{,}5$ g.

$n_{\text{eau}} = \dfrac{m_{\text{eau}}}{M_{\text{eau}}} = \dfrac{9{,}5}{18{,}0} = 0{,}53$ mol $\qquad n(\mathrm{MgCl_2}) = \dfrac{m(\mathrm{MgCl_2})}{M_2} = \dfrac{10{,}8}{95{,}3} = 0{,}113$ mol

Le degré d'hydratation x est la quantité d'eau par mole de $\mathrm{MgCl_2}$:

$$x = \frac{n_{\text{eau}}}{n(\mathrm{MgCl_2})} = \frac{0{,}528}{0{,}113} = 4{,}7$$

Écart relatif avec la valeur indiquée : $\dfrac{4{,}7 - 4{,}5}{4{,}5} \approx 4\ \%$.

$x = 4{,}7$: le titrage confirme, à environ 4 % près, le degré d'hydratation 4,5 annoncé pour la poudre du sachet.

COMPRENDRE
La soustraction donne m_{eau} au dixième de gramme, soit deux chiffres significatifs : x s'écrit 4,7 et non 4,66.

COMPRENDRE
Le résultat est très sensible à V_E : 9,0 mL donne $x = 4{,}7$ et 9,2 mL donne $x = 4{,}5$. L'écart observé s'explique par l'incertitude de la lecture graphique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$20.3 - 10.8 \approx 9.5$

$\dfrac{9.5}{18.0} \approx 0.5277778$

$\dfrac{10.8}{95.3} \approx 0.1133263$

$\dfrac{\frac{9.5}{18.0}}{\frac{10.8}{95.3}} \approx 4.65715$

$\dfrac{4.7 - 4.5}{4.5} \approx 0.04444444$

Le pomelo

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Déterminer graphiquement la valeur du pH du jus de pomelo frais et filtré. Commenter.

Le pH du jus seul se lit sur la figure 1 pour un volume versé $V = 0$ mL, avant tout ajout de solution titrante.

$\mathrm{pH} \approx 2{,}9$: valeur nettement inférieure à 7, le jus de pomelo est une solution **acide**, ce qui est cohérent avec les acides qu'il contient.

PIÈGE
« Commenter » fait partie de la question : la valeur seule ne rapporte pas tous les points. Il faut la comparer à 7 et la relier aux acides du jus.

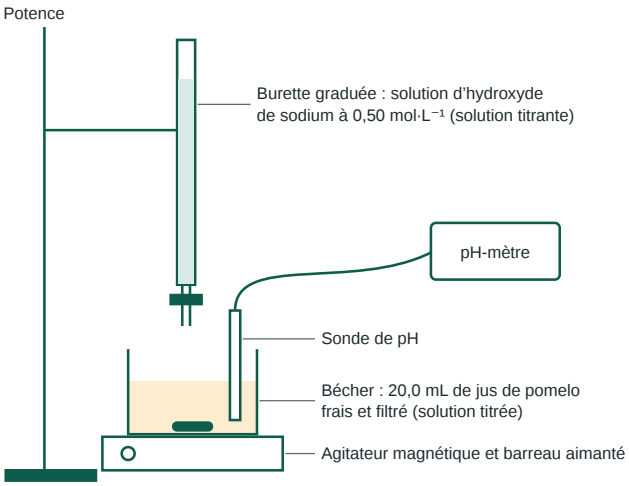
1.2 Schématiser et légender le montage permettant de réaliser ce titrage.

Le schéma doit faire apparaître, avec leurs légendes :

- la burette graduée contenant la solution titrante : hydroxyde de sodium $(\mathrm{Na^+\,(aq)}; \mathrm{HO^-\,(aq)})$ à $0{,}50\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$;
- le bécher contenant la solution titrée : $20{,}0$ mL de jus de pomelo frais et filtré ;
- la sonde de pH plongée dans le jus et reliée au pH-mètre ;
- l'agitateur magnétique et son barreau aimanté.

Montage de titrage pH-métrique : voir le schéma légendé.

MÉTHODE
Pour tout schéma de titrage, quatre légendes sont attendues : verrerie, nom et concentration de la solution titrante, nom et volume de la solution titrée, dispositif de suivi (ici le pH-mètre) avec l'agitation.



1.2 · Montage du titrage pH-métrique du jus de pomelo

1.3.1 Choisir, parmi les indicateurs colorés proposés, celui qui convient pour réaliser le titrage suivi par colorimétrie de l'acidité du jus de pomelo. Justifier.

Données utiles zones de virage : bleu de bromothymol $6{,}0 - 7{,}6$; hélianthine $3{,}1 - 4{,}4$; rouge de crésol $7{,}2 - 8{,}8$

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

Sur la figure 1, le saut de pH s'étend d'environ 6,5 à 10 et son milieu donne $\mathrm{pH}_E \approx 8{,}3$.

Cette valeur appartient à l'intervalle $7{,}2 - 8{,}8$ et à aucun des deux autres.

L'indicateur adapté est le **rouge de crésol**.

PIÈGE
Le bleu de bromothymol ne convient pas ici : sa zone de virage s'achève à 7,6, il changerait de teinte un peu avant l'équivalence. Le choix se justifie toujours avec le pH_E lu sur la courbe.

1.3.2 Préciser le changement de couleur qui peut être observé lors du titrage.

Avant l'équivalence, le milieu est acide ($\mathrm{pH} < 7{,}2$) : le rouge de crésol est sous sa forme acide, jaune. Après l'équivalence, $\mathrm{pH} > 8{,}8$: il est sous sa forme basique, rouge.

À l'équivalence, la solution passe du **jaune au rouge**.

COMPRENDRE
Le pH augmente au cours du titrage puisque l'on verse une base : on va toujours de la couleur de la forme acide vers celle de la forme basique.

1.4 En exploitant la courbe du titrage (figure 1), déterminer l'acidité titrable du jus de pomelo. Commenter.

Données utiles $c_B = 0{,}50\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_A = 20{,}0\ \mathrm{mL}$; $M(\mathrm{C_6H_8O_7}) = 192{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $\mathrm{H_3A\,(aq) + 3\,HO^-\,(aq) \longrightarrow A^{3-}\,(aq) + 3\,H_2O\,(l)}$

Par la méthode des tangentes parallèles, on lit le volume à l'équivalence : $V_E \approx 10{,}1$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$$n(\mathrm{H_3A})_{\text{initial}} = \frac{n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}}}{3} \quad \text{soit} \quad c_A\,V_A = \frac{c_B\,V_E}{3}$$

$$c_A = \frac{c_B\,V_E}{3\,V_A} = \frac{0{,}50 \times 10{,}1}{3 \times 20{,}0} = 8{,}4 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

L'acidité titrable est la concentration en masse d'acide citrique :

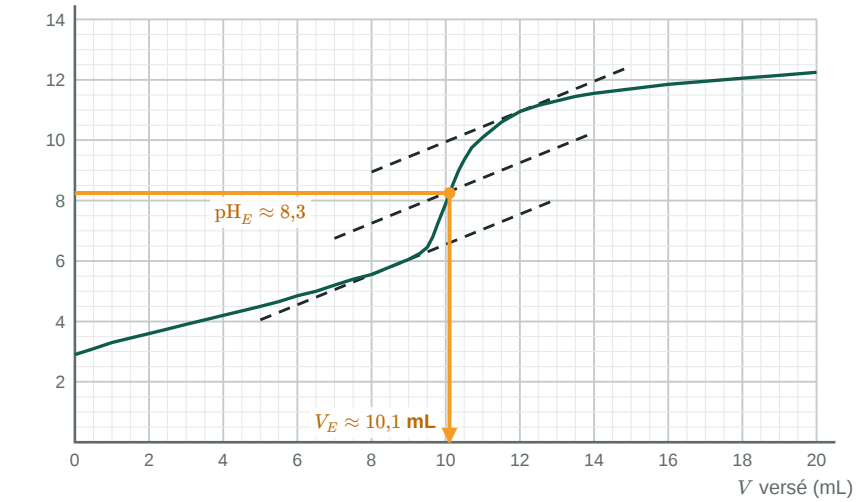
$$c_m = c_A \times M(\mathrm{C_6H_8O_7}) = 8{,}4 \times 10^{-2} \times 192{,}0 = 16\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$$

Acidité titrable : $c_m \approx 16\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$, valeur de l'ordre de la dizaine de grammes par litre, conforme à ce qu'annonce l'énoncé.

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 : l'acide citrique est un triacide, il faut trois ions $\mathrm{HO^-}$ par molécule. Sans la division par 3, on trouve une acidité trois fois trop grande.

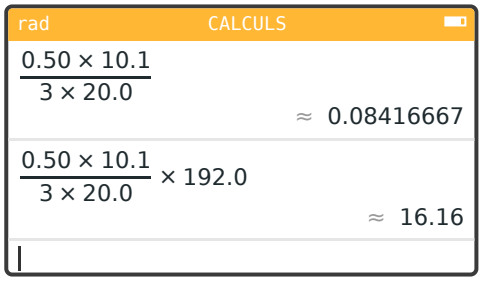
COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $c_B = 0{,}50\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$. Une lecture de V_E entre 10,0 et 10,4 mL donne de 16 à 17 $\mathrm{g\cdot L^{-1}}$: ces valeurs sont acceptées.

MÉTHODE
Dans le rapport V_E/V_A, les deux volumes peuvent rester en mL. Garder la valeur non arrondie de c_A dans la calculatrice pour calculer c_m.



1.4 · Figure 1 du sujet : méthode des tangentes parallèles et lecture de l'équivalence

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer la concentration en quantité de matière en diiode restant dans le mélange final F, puis en déduire la quantité de diiode qui a réagi avec l'acide ascorbique du jus.

Données utiles $A = 0{,}11$; $V_F = 10{,}0$ mL ; solution de diiode : $c_0 = 8{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $V_0 = 5{,}0$ mL

Sur la droite d'étalonnage de la figure 2, l'absorbance $A = 0{,}11$ correspond à :

$$[\text{I}_2]_{\text{restant}} \approx 1{,}15\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 1{,}15 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Quantité de diiode introduite : $n_0 = c_0\, V_0 = 8{,}0 \times 10^{-3} \times 5{,}0 \times 10^{-3} = 4{,}0 \times 10^{-5}$ mol.

Quantité de diiode restante dans F : $n_{\text{restant}} = [\text{I}_2]_{\text{restant}} \times V_F = 1{,}15 \times 10^{-3} \times 10{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}15 \times 10^{-5}$ mol.

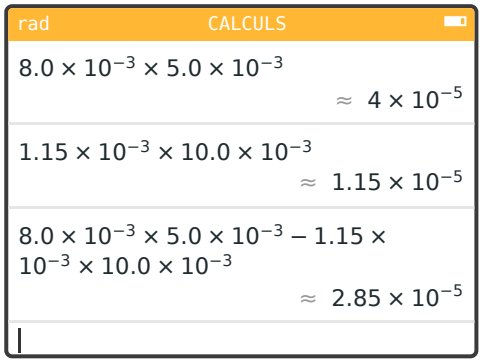
Quantité de diiode ayant réagi :

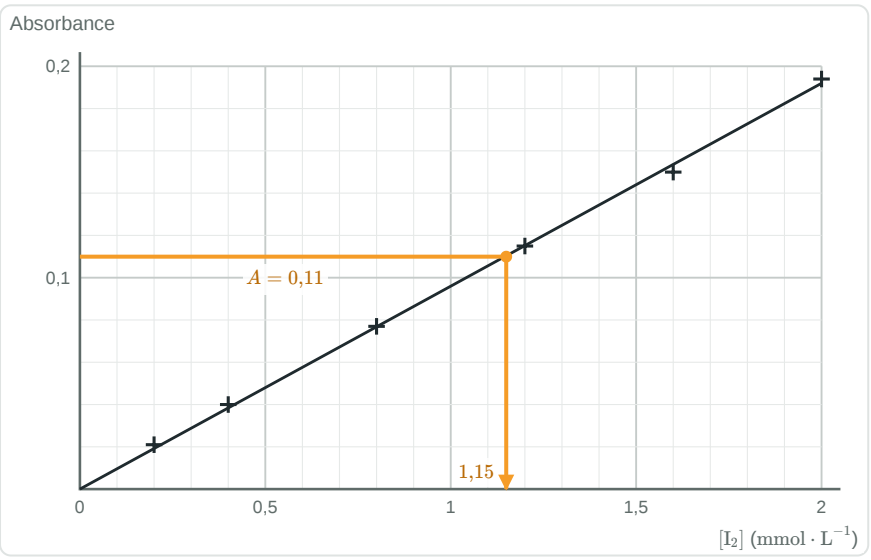
$$n_{\text{réagi}} = n_0 - n_{\text{restant}} = 4{,}0 \times 10^{-5} - 1{,}15 \times 10^{-5} = 2{,}85 \times 10^{-5}\ \text{mol}$$

$[\text{I}_2]_{\text{restant}} \approx 1{,}15 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $n_{\text{réagi}} \approx 2{,}9 \times 10^{-5}$ mol

PIÈGE
Deux volumes différents : le diiode introduit se calcule avec les 5,0 mL de solution de diiode, le diiode restant avec les 10,0 mL du mélange F. L'axe de la figure 2 est gradué en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Figure 2 du sujet : lecture de la concentration pour $A = 0{,}11$

2.2 Montrer que la concentration en acide ascorbique du jus frais de pomelo est environ égale à $6 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $n_{\text{réagi}} = 2{,}85 \times 10^{-5}$ mol (2.1) ; $V_{\text{jus}} = 5{,}0$ mL

Le diiode est en excès et la transformation est totale : l'acide ascorbique, réactif limitant, est entièrement consommé.

D'après l'équation, une mole d'acide ascorbique réagit avec une mole de diiode :

$$n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)_{\text{initial}} = n_{\text{réagi}} = 2{,}85 \times 10^{-5}\ \text{mol}$$

Cette quantité était contenue dans les 5,0 mL de jus :

$$c = \frac{n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)_{\text{initial}}}{V_{\text{jus}}} = \frac{2{,}85 \times 10^{-5}}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 5{,}7 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c = 5{,}7 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx 6 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: c'est bien la valeur attendue.

PIÈGE
Diviser par 10,0 mL : on obtiendrait la concentration dans le mélange F. La question porte sur le jus frais, dont on a prélevé 5,0 mL.

COMPRENDRE
C'est un dosage indirect : on ne mesure pas l'acide ascorbique, mais le diiode qu'il n'a pas consommé. Il faut donc que le diiode soit en excès, ce que confirme $A \neq 0$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.85 \times 10^{-5}}{5.0 \times 10^{-3}} \approx 0.0057$$

2.3 Calculer le volume de jus de pomelo nécessaire pour couvrir totalement les besoins journaliers en acide ascorbique d'un adulte. Commenter.

Données utiles besoin journalier : $m = 100$ mg ; $M(C_6H_8O_6) = 176{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $c = 5{,}7 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.2)

La masse d'acide ascorbique contenue dans un volume V de jus est $m = c \times V \times M(C_6H_8O_6)$, d'où :

$$V = \frac{m}{c \times M(C_6H_8O_6)} = \frac{0{,}100}{5{,}7 \times 10^{-3} \times 176{,}0} = 0{,}10\ \text{L}$$

$V \approx 0{,}10\ \text{L} = 100$ mL : un petit verre de jus de pomelo suffit à couvrir les besoins journaliers en vitamine C d'un adulte.

PIÈGE

Laisser la masse en milligrammes : avec M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, il faut écrire $m = 0{,}100$ g. Sans conversion, le volume trouvé est mille fois trop grand.

COMPRENDRE

Avec la valeur arrondie $6 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on trouve environ 95 mL : la conclusion est la même.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.100}{5.7 \times 10^{-3} \times 176.0} \approx 0.09968102$$