Corrigé complet — Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 2

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

Ex 1	**Comprendre les nuages** Poids et bilan des forces · Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire d'un satellite · Longueur d'onde et célérité · Niveau d'intensité sonore	11 pts	1 h 56	12 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse et recyclage du PET en vanilline** Polymère et motif · Estérification et groupe ester · Optimisation d'une synthèse · Réactif limitant et masse maximale · Acide de Brønsted · Diagramme de prédominance	5 pts	53 min	11 questions	p. 7
Ex 3	**Préparation du chlorure de tertiobutyle** Formule topologique et famille fonctionnelle · Titre massique et dilution · Réaction acide-base · Distillation fractionnée · Spectroscopie infrarouge · Rendement d'une synthèse	4 pts	42 min	6 questions	p. 11

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.

Comprendre les nuages

Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Montrer que la valeur P du poids de la goutte est environ $4{,}1 \times 10^{-11}$ N.

Données utiles $r = 10\ \mu\text{m} = 10 \times 10^{-6}$ m ; $\rho_{\text{eau}} = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$; $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

La masse de la gouttelette est $m = \rho_{\text{eau}}\, V$, donc :

$$P = m\,g = \rho_{\text{eau}} \times \frac{4}{3}\pi r^3 \times g$$

$$P = 1000 \times \frac{4}{3}\pi \times (10 \times 10^{-6})^3 \times 9{,}8 = 4{,}1 \times 10^{-11}\ \text{N}$$

$P = 4{,}1 \times 10^{-11}$ N, ce qui est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Laisser le rayon en micromètres : le rayon est élevé au cube, l'erreur est alors d'un facteur 10^{18}. Vérifier aussi que l'énoncé donne le rayon et non le diamètre.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme g et r qui sont les données les moins précises. Cette règle sert pour tous les calculs de l'exercice.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1000 \times 4}{3} \times \pi \times (10 \times 10^{-6})^3 \times 9.8 \approx 4.105014 \times 10^{-11}$$

Q.2 Déterminer la valeur F de la force verticale ascendante exercée par l'air sur la gouttelette pour une vitesse verticale de l'air de $0{,}10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $F = k\,\eta\,r\,v$; $k = 18{,}8$; $\eta = 15 \times 10^{-6}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; $r = 10 \times 10^{-6}$ m ; $v = 0{,}10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

La gouttelette est immobile : la vitesse de l'air par rapport à elle est $v = 0{,}10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$F = k\,\eta\,r\,v = 18{,}8 \times 15 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6} \times 0{,}10$$

$F = 2{,}8 \times 10^{-10}$ N

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$18.8 \times 15 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6} \times 0.10 \approx 2.82 \times 10^{-10}$$

Q.3 En déduire si la goutte monte, tombe ou reste immobile. Justifier.

Données utiles $P = 4{,}1 \times 10^{-11}$ N (Q.1) ; $F = 2{,}8 \times 10^{-10}$ N (Q.2)

Les deux forces sont verticales et de sens opposés : $\vec{P}$ vers le bas, $\vec{F}$ vers le haut.

$\frac{F}{P} = \frac{2{,}8 \times 10^{-10}}{4{,}1 \times 10^{-11}} \approx 6{,}8$: la force de l'air est environ sept fois plus grande que le poids.

La somme des forces $\vec{P} + \vec{F}$ est donc dirigée vers le haut. D'après la deuxième loi de Newton, appliquée dans le référentiel terrestre galiléen, l'accélération a le même sens. La gouttelette étant initialement immobile :

$F > P$: la goutte **monte**.

PIÈGE
Comparer les mantisses sans regarder les puissances de dix : $2{,}8 \times 10^{-10}$ est plus grand que $4{,}1 \times 10^{-11}$.

MÉTHODE
Le sens de la somme des forces donne le sens de l'accélération, pas celui de la vitesse. C'est parce que la goutte part du repos que l'on peut conclure sur le sens du mouvement.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.8 \times 10^{-10}}{4.1 \times 10^{-11}} \approx 6.829268$$

Q.4 En exploitant les réponses précédentes, déterminer le rayon minimum que doit posséder une gouttelette pour tomber, la vitesse ascendante de l'air restant inchangée.

Données utiles $k = 18{,}8$; $\eta = 15 \times 10^{-6}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; $v = 0{,}10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\rho_{\text{eau}} = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Une gouttelette immobile se met à tomber si son poids l'emporte sur la force de l'air : $P > F$.

$$\rho_{\text{eau}} \times \frac{4}{3}\pi r^3 \times g > k\,\eta\,r\,v$$

En divisant par r (positif) : $r^2 > \dfrac{3\,k\,\eta\,v}{4\pi\,\rho_{\text{eau}}\,g}$

Le rayon limite est donc :

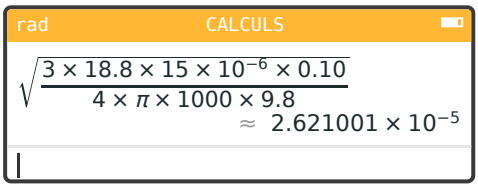
$$r_{\text{min}} = \sqrt{\frac{3\,k\,\eta\,v}{4\pi\,\rho_{\text{eau}}\,g}} = \sqrt{\frac{3 \times 18{,}8 \times 15 \times 10^{-6} \times 0{,}10}{4\pi \times 1000 \times 9{,}8}} = 2{,}6 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

$r_{\text{min}} = 2{,}6 \times 10^{-5}\ \text{m} = 26\ \mu\text{m}$: la gouttelette tombe si son rayon dépasse cette valeur.

PIÈGE
Réutiliser les valeurs numériques de P et de F des questions 1 et 2 : elles ne valent que pour $r = 10\ \mu\text{m}$. Il faut repartir des expressions littérales.

COMPRENDRE
Le poids varie comme r^3, la force de l'air comme r : quand la goutte grossit, le poids finit toujours par l'emporter. Le diamètre limite, 52 µm, est bien dans l'intervalle de 10 à 100 µm annoncé.

À LA CALCULATRICE



Q.5 Exprimer la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/S}}$ que la Terre exerce sur le satellite, en fonction de $\vec{u}_n$, M_T, M_S, R_T et h.

La distance entre le centre T de la Terre et le satellite S est $R_T + h$; la force est dirigée de S vers T, comme $\vec{u}_n$.

$$\overrightarrow{F_{T/S}} = G\,\frac{M_T\,M_S}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}_n$$

PIÈGE
Écrire h^2 au dénominateur, ou ajouter un signe « $-$ » : sur le schéma, $\vec{u}_n$ pointe déjà vers le centre de la Terre.

Q.6 En appliquant la seconde loi de Newton et en utilisant le repère de Frenet, montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

Système : le satellite, de masse M_S constante. Référentiel géocentrique supposé galiléen. Seule force : $\overrightarrow{F_{T/S}}$.

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{F_{T/S}} = M_S\,\vec{a}$, d'où

$$\vec{a} = \frac{G\,M_T}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}_n$$

Dans le repère de Frenet, pour une trajectoire circulaire de rayon $R_T + h$:

$$\vec{a} = \frac{\text{d}v}{\text{d}t}\,\vec{u}_t + \frac{v^2}{R_T + h}\,\vec{u}_n$$

L'accélération obtenue n'a pas de composante selon $\vec{u}_t$. Par identification :

$\dfrac{\text{d}v}{\text{d}t} = 0$: la valeur de la vitesse est constante, le mouvement est **uniforme**.

PIÈGE
Dire que l'accélération est nulle parce que le mouvement est uniforme. Seule sa composante tangentielle est nulle ; la composante normale courbe la trajectoire.

MÉTHODE
Toujours les trois mêmes étapes : deuxième loi de Newton, expression de $\vec{a}$ dans le repère de Frenet, identification. Selon $\vec{u}_t$ on obtient l'uniformité, selon $\vec{u}_n$ la vitesse.

Q.7 Montrer que la valeur de la vitesse du satellite est $v = \sqrt{\dfrac{G \times M_T}{R_T + h}}$.

On identifie cette fois les composantes selon $\vec{u}_n$ des deux expressions de $\vec{a}$ (Q.6) :

$$\frac{v^2}{R_T + h} = \frac{G\,M_T}{(R_T + h)^2} \quad \text{donc} \quad v^2 = \frac{G\,M_T}{R_T + h}$$

$v = \sqrt{\dfrac{G \times M_T}{R_T + h}}$, relation attendue.

COMPRENDRE
La masse du satellite a disparu : tous les objets placés à la même altitude tournent à la même vitesse. Plus l'orbite est haute, plus la vitesse est faible.

Q.8 En déduire que la période de révolution du satellite est $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(R_T + h)^3}{G \times M_T}}$.

Pendant une période T, le satellite parcourt à vitesse constante le périmètre du cercle de rayon $R_T + h$:

$$T = \frac{2\pi\,(R_T + h)}{v} = 2\pi\,(R_T + h)\sqrt{\frac{R_T + h}{G\,M_T}}$$

Comme $R_T + h = \sqrt{(R_T + h)^2}$, on regroupe sous la racine :

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(R_T + h)^3}{G \times M_T}}$, relation attendue.

PIÈGE
Utiliser $v = \dfrac{d}{\Delta t}$ sans préciser que le mouvement est uniforme (Q.6) : c'est ce qui autorise à écrire la vitesse comme périmètre divisé par période.

Q.9 Calculer la période de révolution T et dire si elle est en accord avec la phrase « Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour ».

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2} ; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6{,}37 \times 10^3$ km ; $h = 390$ km

$R_T + h = 6{,}37 \times 10^6 + 3{,}90 \times 10^5 = 6{,}76 \times 10^6$ m.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}76 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}} = 5{,}53 \times 10^3 \text{ s}$$

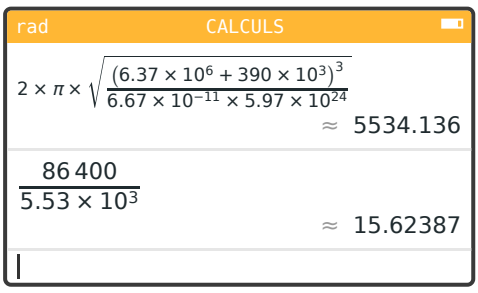
soit environ 1 h 32 min. Un jour dure $24 \times 3600 = 86\,400$ s, donc le nombre de tours par jour est :

$$N = \frac{86\,400}{5{,}53 \times 10^3} = 15{,}6$$

$T = 5{,}53 \times 10^3$ s, soit $N \approx 15{,}6$ tours par jour : c'est en accord avec « environ 16 ».

PIÈGE
Laisser R_T et h en kilomètres : G est en unités SI, les distances doivent être en mètres. Autre oubli fréquent : le cube sur $(R_T + h)$.

À LA CALCULATRICE



Q.10 Déterminer si les ondes électromagnétiques utilisées par le CPR permettent d'obtenir un signal exploitable. Justifier.

Données utiles $f_e = 94{,}05 \times 10^9$ Hz ; $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (valeur à connaître) ; diamètre des gouttelettes : de 10 à 100 µm ; condition : λ supérieure à dix fois le diamètre

Longueur d'onde des ondes émises :

$$\lambda = \frac{c}{f_e} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{94{,}05 \times 10^9} = 3{,}19 \times 10^{-3} \text{ m}$$

La condition la plus exigeante concerne les plus grosses gouttelettes, de diamètre 100 µm :

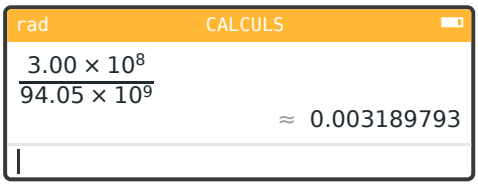
$10 \times 100 \times 10^{-6} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ m, soit 1,0 mm.

$\lambda = 3{,}19 \text{ mm} > 1{,}0 \text{ mm}$: la condition est vérifiée pour toutes les gouttelettes, le signal est exploitable.

PIÈGE
Ne tester que le diamètre de 10 µm. La condition doit tenir pour toutes les gouttelettes : c'est le plus grand diamètre qui décide.

COMPRENDRE
La célérité de la lumière dans le vide n'est pas rappelée par le sujet : elle fait partie des valeurs à connaître, et sert aussi à la question suivante.

À LA CALCULATRICE



Q.11 Vérifier que la distance parcourue par le satellite pendant un aller-retour des ondes entre le satellite et le nuage est très inférieure à la longueur du nuage.

Données utiles altitude du satellite : 390 km ; altitude du nuage : 2 km ; $v = 7{,}5 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; longueur du nuage : environ 1 km ; $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Distance entre le satellite et le nuage, situé à sa verticale : $D = 390 - 2 = 388$ km.

Durée de l'aller-retour des ondes, qui se propagent à la célérité c :

$$\Delta t = \frac{2D}{c} = \frac{2 \times 388 \times 10^3}{3{,}00 \times 10^8} = 2{,}59 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Distance parcourue par le satellite pendant cette durée :

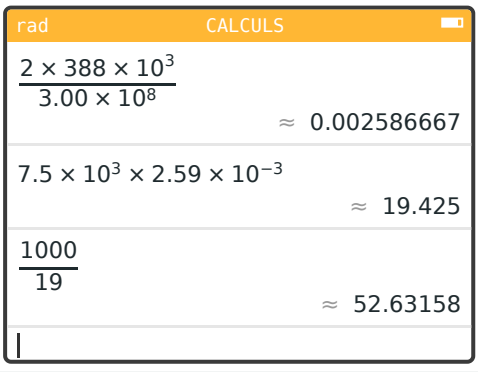
$$d_S = v \times \Delta t = 7{,}5 \times 10^3 \times 2{,}59 \times 10^{-3} = 19 \text{ m}$$

$d_S \approx 19$ m, environ 50 fois moins que la longueur du nuage (1 km) : elle est bien très inférieure.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 de l'aller-retour, ou prendre 390 km sans retrancher l'altitude du nuage (ce second oubli change peu le résultat, mais la démarche est évaluée).

COMPRENDRE
Le satellite reçoit l'écho alors qu'il est encore pratiquement à la verticale du point visé : on peut le considérer comme immobile pendant une mesure.

À LA CALCULATRICE



Q.12 Estimer la distance d minimale pour qu'une personne ne subisse pas de gêne liée au bruit du haut-parleur. Commenter le point de vue du journaliste.

Données utiles $L_1 = 160$ dB à $d_1 = 1{,}0$ m ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2} ; $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$; $I = \frac{P}{4\pi d^2}$; échelle des niveaux : « désagréable » à 80 dB

Hypothèses. Le haut-parleur est une source ponctuelle qui émet de la même façon dans toutes les directions ; sa puissance P est constante ; l'air n'absorbe pas le son et il n'y a pas d'obstacle. D'après l'échelle, on admet qu'il n'y a plus de gêne en dessous du niveau « désagréable » : $L_2 = 80$ dB.

Intensités. De $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ on tire $I = I_0 \times 10^{L/10}$:

$I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{16} = 1{,}0 \times 10^{4}$ W · m^{-2} à 1,0 m ; $I_2 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{8} = 1{,}0 \times 10^{-4}$ W · m^{-2} à la distance d.

Puissance de la source. $P = I_1 \times 4\pi d_1^2 = 1{,}0 \times 10^{4} \times 4\pi \times 1{,}0^2 = 1{,}3 \times 10^{5}$ W.

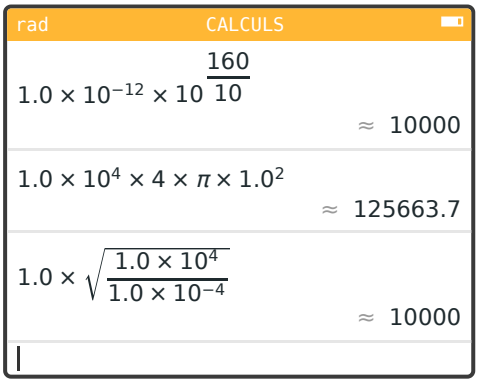
Distance. La même puissance se répartit sur la sphère de rayon d : $I_2 = \frac{P}{4\pi d^2}$, donc

$$d = \sqrt{\frac{P}{4\pi I_2}} = d_1\sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = 1{,}0 \times \sqrt{\frac{1{,}0 \times 10^{4}}{1{,}0 \times 10^{-4}}} = 1{,}0 \times 10^{4} \text{ m}$$

Commentaire. À 1,0 m, le niveau (160 dB) dépasse largement le seuil de douleur (120 dB), et il faut s'éloigner d'une dizaine de kilomètres pour ne plus être gêné. Affirmer que ces ondes sonores sont à peine audibles est donc faux.

$d \approx 1{,}0 \times 10^{4}$ m $= 10$ km (pour un seuil de gêne fixé à 80 dB) ; le son est très loin d'être « à peine audible ».

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Raisonner directement sur les décibels (« moitié du niveau, donc distance double »). Les niveaux ne sont pas proportionnels aux intensités : il faut repasser par I.

COMPRENDRE
Le seuil de gêne est un choix à justifier par l'échelle. Avec 60 dB (« bruyant »), on trouve 100 km ; avec 50 dB, environ 320 km. La conclusion sur le journaliste ne change pas.

MÉTHODE
Chaque fois que la distance est multipliée par 10, l'intensité est divisée par 100 et le niveau baisse de 20 dB. Passer de 160 à 80 dB demande quatre facteurs 10 : $1{,}0$ m $\times 10^{4}$.

Synthèse et recyclage du PET en vanilline

Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Indiquer les précautions à prendre pour la manipulation des réactifs.

Données utiles acide téréphtalique : nocif pour la peau et les yeux ; éthylène glycol : nocif, irritant pour les yeux et les voies respiratoires, inflammable, explosif

Les deux réactifs sont nocifs pour la peau et les yeux : on porte une blouse, des gants et des lunettes de protection.

L'éthylène glycol irrite les voies respiratoires : on manipule sous la hotte.

Il est aussi inflammable et explosif : on travaille loin de toute flamme ou étincelle, avec un chauffage électrique (chauffe-ballon).

Blouse, gants, lunettes ; travail sous hotte ; aucune flamme à proximité.

MÉTHODE
Associer chaque précaution au risque du tableau qui la justifie : une liste d'équipements sans lien avec les risques indiqués ne rapporte pas tous les points.

Q.2 Identifier la molécule A formée lors de l'étape 1. Préciser sa formule chimique et son nom.

Un groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ de l'acide réagit avec un groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$ du diol : il se forme un groupe ester et une petite molécule A.

Vérification par conservation des éléments (formules brutes : acide $\mathrm{C_8H_6O_4}$, diol $\mathrm{C_2H_6O_2}$, PET $\mathrm{H{-}(C_{10}H_8O_4)_n{-}OH}$) :

- réactifs : $10n$ C, $12n$ H, $6n$ O ;
- PET : $10n$ C, $8n+2$ H, $4n+1$ O.

Il reste pour les $(2n-1)$ molécules A : $12n-(8n+2)=2(2n-1)$ atomes H et $6n-(4n+1)=2n-1$ atomes O, soit 2 H et 1 O par molécule.

A est l'eau, de formule $\mathrm{H_2O}$.

COMPRENDRE
Une chaîne de n motifs contient $2n-1$ liaisons ester ($2n$ fonctions acide, mais une reste libre en bout de chaîne). Chaque estérification libère une molécule d'eau : d'où le coefficient $(2n-1)$.

Q.3 Expliquer l'intérêt d'éliminer la molécule A au cours de l'étape 1.

La double flèche de l'équation indique que la transformation est limitée : le PET et l'eau peuvent réagir ensemble (hydrolyse) et redonner les réactifs.

En retirant l'eau au fur et à mesure, on empêche cette réaction inverse : le quotient de réaction reste inférieur à la constante d'équilibre et le système continue d'évoluer dans le sens direct.

Éliminer l'eau déplace l'équilibre dans le sens de la formation du PET : le rendement augmente.

PIÈGE
Répondre que l'on « accélère » la réaction. Éliminer un produit ne joue pas sur la vitesse mais sur l'état final : c'est le rendement qui est amélioré.

Q.4 Nommer les étapes 1, 2 et 3 du protocole expérimental.

Étape 1 : **transformation** des réactifs (chauffage à reflux).

Étape 2 : **purification** du produit (lavages qui retirent les impuretés et les réactifs restants).

Étape 3 : séchage puis **analyse** du produit (identification par chromatographie et spectroscopie infrarouge).

1 : transformation ; 2 : purification ; 3 : analyse (identification).

Q.5 Expliquer pourquoi le PET appartient à la famille des polyesters.

Le PET est un polymère : sa molécule est une longue chaîne formée par la répétition, n fois, d'un même motif.

Ce motif contient deux groupes caractéristiques ester $-\mathrm{CO}-\mathrm{O}-\mathrm{C}$, un de chaque côté du cycle.

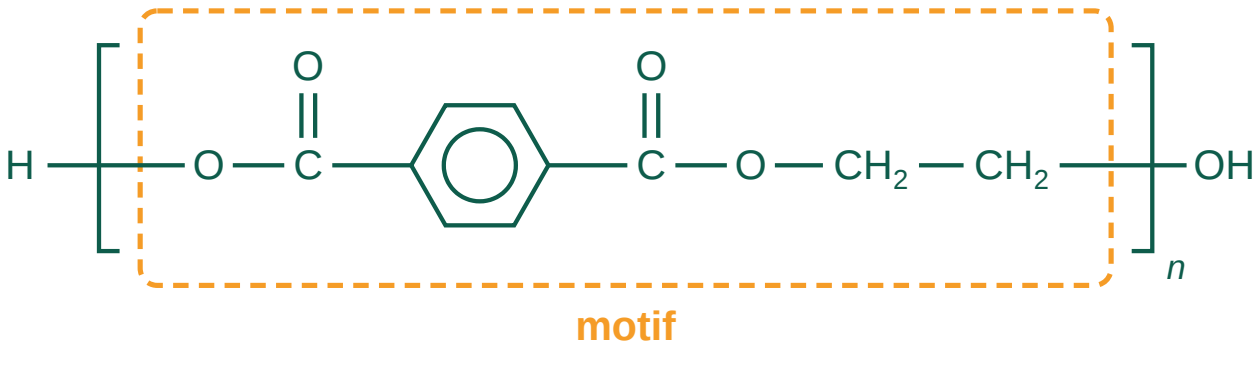
Macromolécule dont le motif répété porte des groupes ester : le PET est un polyester.

PIÈGE
Confondre le groupe ester $-\mathrm{CO}-\mathrm{O}-\mathrm{C}$ avec le groupe carboxyle $-\mathrm{CO}-\mathrm{OH}$: dans l'ester, l'oxygène est lié à un carbone, pas à un hydrogène.

Q.6 Identifier le motif du PET.

Le motif est le groupe d'atomes qui se répète n fois : c'est ce qui est écrit entre les crochets, sans le H ni le OH des extrémités.

Motif : $-\mathrm{O}-\mathrm{CO}-\mathrm{C_6H_4}-\mathrm{CO}-\mathrm{O}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}^-$, de formule brute $\mathrm{C_{10}H_8O_4}$.



Q.6 · Le motif du PET (encadré en orange) : tout ce qui se trouve entre les crochets

Q.7 Sachant que la masse molaire du motif du polymère est de 192 g·mol⁻¹, estimer la valeur de n.

Données utiles $M_{\mathrm{PET}} = 3\,600\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M_{\mathrm{motif}} = 192\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

Une chaîne comporte n motifs, plus un atome H et un groupe OH aux extrémités :

$$M_{\mathrm{PET}} = n\,M_{\mathrm{motif}} + 2\,M(\mathrm{H}) + M(\mathrm{O})$$

$$n = \frac{M_{\mathrm{PET}} - 2\,M(\mathrm{H}) - M(\mathrm{O})}{M_{\mathrm{motif}}} = \frac{3\,600 - 18{,}0}{192} = 18{,}7$$

$n \approx 19$ motifs par chaîne en moyenne.

COMPRENDRE
La valeur trouvée n'est pas entière car 3 600 g·mol⁻¹ est une moyenne sur des chaînes de longueurs différentes. Les extrémités pèsent peu : $3\,600 \div 192 = 18{,}75$ conduit aussi à $n \approx 19$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3600 - 18}{192} \approx 18.65625$

Q.8 Déterminer, en justifiant, si la synthèse réalisée permet de fabriquer une bouteille en plastique (32 g de PET en moyenne).

Données utiles acide téréphtalique : $m_1 = 20{,}0$ g, $M_1 = 166{,}14\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; éthylène glycol : $V_2 = 40$ mL, $\rho_2 = 1{,}1\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, $M_2 = 62{,}07\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_{\text{PET}} = 3\,600\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $n \approx 19$ (Q.7)

On calcule la masse maximale de PET (transformation supposée totale) et on la compare à 32 g.

Quantités initiales.

Acide téréphtalique : $n_1 = \dfrac{m_1}{M_1} = \dfrac{20{,}0}{166{,}14} = 0{,}120\ \text{mol}$

Éthylène glycol : $n_2 = \dfrac{\rho_2\, V_2}{M_2} = \dfrac{1{,}1 \times 40}{62{,}07} = 0{,}71\ \text{mol}$

Réactif limitant. Les deux réactifs ont le même nombre stœchiométrique n et $n_1 < n_2$: l'acide téréphtalique est le réactif limitant.

Masse maximale de PET. Il faut n moles d'acide pour former une mole de PET :

$$n_{\text{PET}} = \frac{n_1}{n} \qquad m_{\text{PET}} = \frac{n_1}{n} M_{\text{PET}} = \frac{0{,}120}{19} \times 3\,600 = 22{,}8\ \text{g}$$

$m_{\text{PET, max}} = 22{,}8\ \text{g} < 32\ \text{g}$: même avec un rendement de 100 %, la synthèse ne permet pas de fabriquer une bouteille.

PIÈGE
Écrire $n_{\text{PET}} = n_1$. La lettre n de l'équation est un nombre stœchiométrique : une mole de PET consomme n moles d'acide. Sans cette division, on trouverait 433 g.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme m_1. Le calcul est mené avec la valeur non arrondie de n_1. Garder $n = 18{,}7$ donnerait 23,2 g : la conclusion ne dépend pas de l'arrondi de n.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche, calculer les quantités de matière, désigner le réactif limitant, en déduire la masse maximale, puis conclure par une comparaison chiffrée avec la valeur demandée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{20.0}{166.14} \approx 0.1203804$

$\dfrac{1.1 \times 40}{62.07} \approx 0.7088771$

$\dfrac{\frac{20.0}{166.14}}{19} \times 3600 \approx 22.80892$

Q.9 Donner la définition d'un acide selon Brønsted.

Un acide de Brønsted est une espèce chimique capable de céder au moins un ion hydrogène H^+.

COMPRENDRE
L'acide téréphtalique possède deux groupes carboxyle : il peut céder deux ions H^+ successivement, d'où la notation AH_2 et l'existence de deux $\text{p}K_A$.

Q.10 Indiquer les formules brutes des formes 1 et 3 présentes sur le diagramme de prédominance.

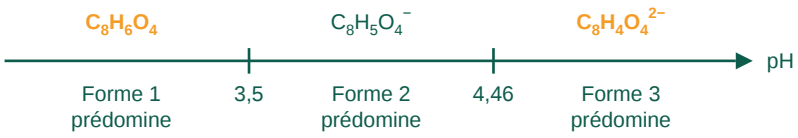
Données utiles forme 2 : $C_8H_5O_4^-$; $pK_{A1} = 3{,}5$; $pK_{A2} = 4{,}46$

La forme 1 prédomine pour $pH < pK_{A1}$: c'est l'acide conjugué de la forme 2, qui possède un ion H^+ de plus.

La forme 3 prédomine pour $pH > pK_{A2}$: c'est la base conjuguée de la forme 2, qui a cédé un ion H^+.

Forme 1 : $C_8H_6O_4$ (soit AH_2) ; forme 3 : $C_8H_4O_4^{2-}$ (soit A^{2-}).

PIÈGE
Oublier la charge : chaque ion H^+ cédé retire un atome H et une charge positive. De $C_8H_5O_4^-$ à la forme 3, la charge passe donc de -1 à -2.



Q.10 · Diagramme de prédominance complété (réponses en orange)

Q.11 Montrer que le choix d'une solution tampon à pH = 5,5 respecte les conditions expérimentales souhaitées.

Données utiles $pK_{A1} = 3{,}5$; $pK_{A2} = 4{,}46$; conditions : pas de forme acide de l'acide téréphtalique, milieu pas trop fortement basique

Première condition. $pH = 5{,}5 > pK_{A2} = 4{,}46$: c'est la forme 3, A^{2-}, qui prédomine. Elle n'a plus d'ion H^+ à céder : ce n'est pas une forme acide. Plus précisément :

$$\frac{[A^{2-}]}{[AH^-]} = 10^{pH-pK_{A2}} = 10^{5{,}5-4{,}46} \approx 11$$

Le pH dépasse pK_{A2} d'une unité : les formes acides AH^- et surtout AH_2 sont très minoritaires.

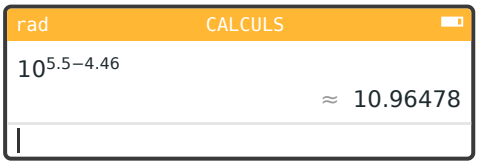
Seconde condition. $pH = 5{,}5 < 7$: le milieu n'est pas basique, la transformation n'est pas limitée.

La solution tampon maintient le pH à cette valeur pendant toute la transformation.

À pH = 5,5, la forme A^{2-} prédomine nettement et le milieu n'est pas basique : les deux conditions sont respectées.

COMPRENDRE
Un pH juste au-dessus de 4,46 ne suffirait pas : pour $pH = pK_{A2}$, les formes 2 et 3 sont en quantités égales. Il faut s'en éloigner d'environ une unité, sans aller jusqu'au milieu basique.

À LA CALCULATRICE



Préparation du chlorure de tertiobutyle

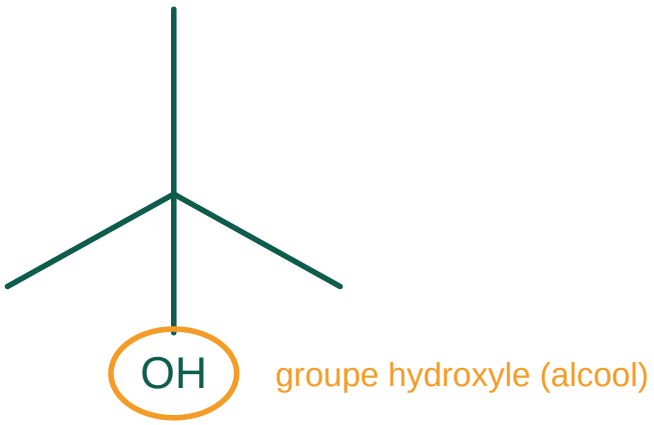
Bac 2023 Centres étrangers 2 Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q.1 Représenter la formule topologique du tertiobutanol. Entourer le groupe caractéristique et nommer la famille fonctionnelle correspondante.

Le tertiobutanol (2-méthylpropan-2-ol) a une chaîne de trois carbones ; le carbone central porte un groupe méthyle et le groupe $-\mathrm{OH}$ (voir la figure).

Groupe caractéristique entouré : le groupe **hydroxyle** $-\mathrm{OH}$; famille fonctionnelle : **alcool**.

PIÈGE
En formule topologique, on n'écrit ni les C ni les H portés par les carbones. Le H du groupe $-\mathrm{OH}$, lui, s'écrit toujours.



Q.1 · Formule topologique du tertiobutanol, groupe caractéristique entouré

Q.2 Présenter la démarche à mettre en œuvre pour préparer la solution S ($V = 250{,}0$ mL, $C = 2{,}4\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) à partir de l'acide commercial, en indiquant la verrerie choisie dans la liste.

Données utiles acide commercial : $w = 37\ \%$, $d = 1{,}19$; $M = 36{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\times10^{3}\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Concentration C_0 de l'acide commercial. Un litre de solution a une masse $d\,\rho_{\text{eau}}\times 1\ \text{L}$ et contient une masse $w\,d\,\rho_{\text{eau}}\times 1\ \text{L}$ de HCl, donc :

$$C_0 = \frac{w\,d\,\rho_{\text{eau}}}{M} = \frac{0{,}37\times1{,}19\times1{,}00\times10^{3}}{36{,}5} = 12\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Volume V_0 à prélever. La dilution conserve la quantité de soluté : $C_0\,V_0 = C\,V$.

$$V_0 = \frac{C\,V}{C_0} = \frac{2{,}4\times250{,}0}{12} = 50\ \text{mL}$$

Protocole (gants, lunettes, sous la hotte) :

- verser un peu d'acide commercial dans un bécher de 100 mL ;
- en prélever 50,0 mL avec la pipette jaugée de 50,0 mL munie d'une propipette ;
- les introduire dans la fiole jaugée de 250,0 mL contenant déjà un peu d'eau distillée ;
- ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter ;
- compléter jusqu'au trait de jauge, boucher, homogénéiser.

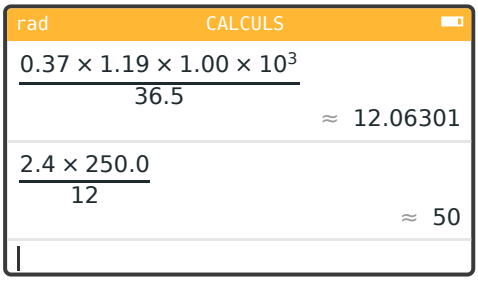
$C_0 = 12\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; on prélève $V_0 = 50$ mL (pipette jaugée de 50,0 mL) que l'on dilue dans une fiole jaugée de 250,0 mL.

PIÈGE
Une éprouvette graduée ou un bécher ne sont pas assez précis pour une dilution. Le prélèvement se fait à la pipette jaugée, jamais directement dans le flacon.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme w et C. Avec $C_0 = 12{,}06\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ non arrondie, on trouve $V_0 = 49{,}7$ mL, qui s'arrondit aussi à 50 mL : la pipette de 50,0 mL convient.

MÉTHODE
Concentration d'une solution commerciale : raisonner sur 1 L. Masse du litre : $d\,\rho_{\text{eau}}$; masse de soluté : fraction w de cette masse ; quantité : division par M.

À LA CALCULATRICE



Q.3 Écrire l'équation de la réaction acide-base qui modélise la transformation ayant lieu dans l'ampoule à décanter (étape 2) et préciser le nom du gaz formé.

Données utiles couples $CO_2, H_2O\,(aq)$ / $HCO_3^-\,(aq)$ et $H_3O^+\,(aq)$ / $H_2O\,(l)$

Le lavage élimine les ions oxonium : l'acide H_3O^+ cède un ion H^+ à la base HCO_3^-.

$$HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(l)$$

Le gaz formé est le **dioxyde de carbone** CO_2.

COMPRENDRE
L'ion HCO_3^- est une espèce amphotère : face à l'acide H_3O^+, il joue le rôle de base, son acide conjugué est CO_2, H_2O. C'est ce dégagement gazeux qui impose de dégazer l'ampoule.

Q.4 Parmi les montages A, B et C, indiquer celui utilisé pour purifier le chlorure de tertiobutyle par distillation.

Une distillation demande un ballon chauffé, une colonne surmontée d'un thermomètre, un réfrigérant incliné et un récipient pour recueillir le distillat.

C'est le **montage C**.

COMPRENDRE
Le montage A est un chauffage à reflux : les vapeurs condensées retombent dans le ballon, rien n'est séparé. Le montage B est une simple agitation magnétique dans un bain.

Q.5 Attribuer chaque spectre IR de la figure 1 au tertiobutanol ou au chlorure de tertiobutyle, en explicitant le raisonnement.

Données utiles table IR : O–H alcool lié, 3200 – 3400 cm^{-1}, bande forte et large ; C–H alcane, 2800 – 3000 cm^{-1}, bande forte

Les deux molécules possèdent des liaisons C–H d'alcane (bande vers 2800 – 3000 cm^{-1} sur les deux spectres). Seul le tertiobutanol possède une liaison O–H.

Le spectre 2 présente une bande forte et large entre 3200 et 3400 cm^{-1}, caractéristique de la liaison O–H d'un alcool lié. Le spectre 1 n'a aucune bande dans cette zone.

Spectre 2 : tertiobutanol ; **spectre 1 : chlorure de tertiobutyle**.

MÉTHODE
Pour attribuer des spectres IR, chercher la liaison présente dans une seule des molécules, puis repérer sa bande dans la table : position, intensité et largeur.

Q.6 On recueille une masse $m = 4{,}45$ g de chlorure de tertiobutyle. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse.

Données utiles $m_A = 5{,}00$ g ; $M(\text{tertiobutanol}) = 74{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{chlorure}) = 92{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; acide S : $V = 100$ mL, $C = 2{,}4\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

Réactif limitant. Tertiobutanol : $n_A = \dfrac{m_A}{M_A} = \dfrac{5{,}00}{74{,}0} = 6{,}76\times10^{-2}$ mol.

Ions oxonium : $n(\text{H}_3\text{O}^+) = C\,V = 2{,}4\times0{,}100 = 0{,}24$ mol. Les nombres stœchiométriques valent 1 et $n_A < n(\text{H}_3\text{O}^+)$: le tertiobutanol est le réactif limitant, l'acide est bien en excès.

Masse maximale de produit. Une mole d'alcool donne une mole de chlorure de tertiobutyle : $n_{\text{max}} = n_A$.

$$m_{\text{max}} = n_A \times M(\text{chlorure}) = 6{,}76\times10^{-2}\times92{,}5 = 6{,}25\ \text{g}$$

Rendement.

$$\eta = \frac{m}{m_{\text{max}}} = \frac{4{,}45}{6{,}25} = 0{,}712$$

$\eta = 0{,}712$, soit un rendement de 71,2 %.

PIÈGE
Diviser 4,45 g par 5,00 g : les deux masses ne concernent pas la même espèce. Le rendement compare la masse obtenue à la masse maximale de produit, calculée avec la masse molaire du produit.

COMPRENDRE
Le rendement est inférieur à 100 % : la transformation n'est pas totale (double flèche dans l'équation) et du produit est perdu lors des lavages, de la filtration et de la distillation.

À LA CALCULATRICE

