Corrigé complet — Bac 2024 Amérique du Nord Jour 1

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

Ex 1	**Observation d'un volcan par interférométrie satellitaire radar** Vecteur variation de vitesse · Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution · Interférences et différence de marche	11 pts	1 h 56	13 questions	p. 2
Ex 2	**Des batteries à flux redox organiques** Demi-équations d'oxydoréduction · Fonctionnement d'une pile · Capacité électrique · Constante de Faraday · Puissance et énergie électriques	5 pts	53 min	10 questions	p. 7
Ex 3	**Le gallate de propyle** Groupes caractéristiques et familles fonctionnelles · Mécanisme réactionnel et flèches courbes · Schéma de Lewis · Intermédiaire réactionnel et catalyseur · Optimisation d'une synthèse · Rendement et quantité de matière	4 pts	38 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.

Observation d'un volcan par interférométrie satellitaire radar

Bac 2024 Amérique du Nord Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Indiquer les lignes du programme qui permettent de calculer les coordonnées approchées des vecteurs variation de vitesse.

Les coordonnées `delta_vx` et `delta_vy` sont calculées dans la seconde boucle `for` du programme.

Lignes 60 à 62 : la boucle (ligne 60), puis `delta_vx[i]` (ligne 61) et `delta_vy[i]` (ligne 62).

MÉTHODE
Seules les lignes 50 et 60 sont numérotées : on compte les lignes une à une à partir de ces repères, lignes vides et commentaires compris.

Q.2 Indiquer lequel des deux vecteurs tracés à une position du satellite sur la figure 2 est le vecteur variation de vitesse. Justifier.

Le vecteur vitesse est tangent à la trajectoire : sur la figure 2, c'est la flèche perpendiculaire au rayon.

L'autre flèche, portée par le rayon et dirigée vers le centre de rotation, ne peut donc pas être une vitesse.

Le vecteur variation de vitesse est celui qui pointe vers le centre de la trajectoire.

COMPRENDRE
Sur un cercle parcouru à vitesse constante, la vitesse ne change que de direction : $\Delta\vec{v}$, comme l'accélération, est dirigé vers le centre.

Q.3 Montrer, à l'aide de l'échelle de la figure 2, que la valeur de l'accélération moyenne du satellite est voisine de $8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Données utiles $\Delta t = 369{,}3$ s ; échelle de la figure 2 : flèche de $5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$

Ligne 61 : la variation de vitesse au point i est $\vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$, elle correspond donc à la durée $2\,\Delta t$: $a = \dfrac{\Delta v}{2\,\Delta t}$

Mesures à la règle : la flèche de l'échelle mesure 1,2 cm pour $5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$; une flèche de variation de vitesse mesure 1,4 cm.

$$\Delta v = \frac{1{,}4}{1{,}2} \times 5 = 5{,}8\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} = 5{,}8 \times 10^{3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

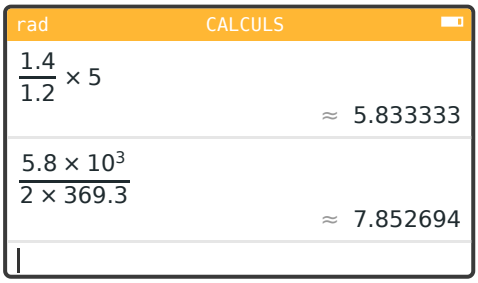
$$a = \frac{5{,}8 \times 10^{3}}{2 \times 369{,}3} = 7{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$a = 7{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, valeur voisine de $8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

PIÈGE
Diviser par Δt au lieu de $2\,\Delta t$ donne une valeur double. Ne pas oublier non plus de convertir les $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

COMPRENDRE
Une mesure entre 1,3 et 1,4 cm est acceptable : l'écart vient de la précision du tracé. Les longueurs dépendent de l'impression, seul leur rapport compte.

À LA CALCULATRICE

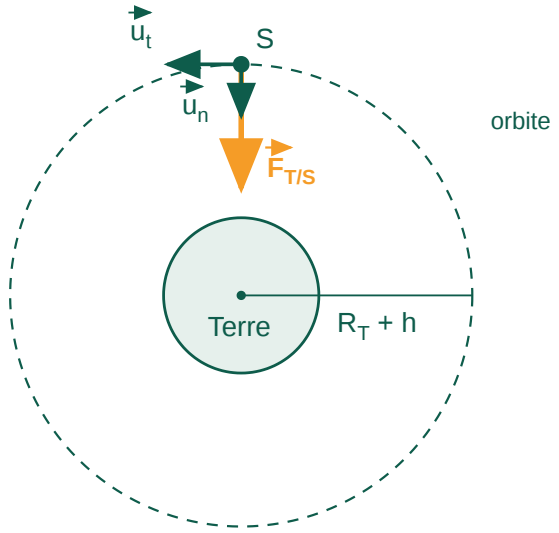


Q.4 Exprimer, dans le repère de Frenet, la force gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite en fonction de G, m, M_T, R_T, h. La représenter sur un schéma avec le repère de Frenet.

Le satellite est à la distance $R_T + h$ du centre de la Terre. La force est attractive, dirigée vers ce centre, donc selon $\vec{u}_n$.

$$\vec{F}_{T/S} = \frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n$$

PIÈGE
Écrire h^2 ou R_T^2 au dénominateur : la distance à utiliser est celle entre les centres, $R_T + h$.



Q.4 · Force gravitationnelle et repère de Frenet lié au satellite

Q.5 Établir l'expression du vecteur accélération du satellite et calculer sa norme. Comparer à la valeur obtenue à la question Q.3.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6{,}37 \times 10^{6}$ m ; $h = 692$ km

Système {satellite}, de masse m constante ; référentiel géocentrique supposé galiléen ; seule force : $\vec{F}_{T/S}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $\dfrac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n = m\,\vec{a}$, donc

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

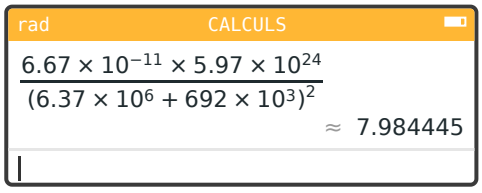
$$a = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6{,}37 \times 10^{6} + 692 \times 10^{3})^2} = 7{,}98\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$a = 7{,}98\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$: la valeur est en accord avec celle de Q.3 ($7{,}9\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), à la précision de la mesure graphique.

PIÈGE
Laisser h en kilomètres : il faut 692×10^3 m avant de l'ajouter à R_T.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les données. L'accélération ne dépend pas de la masse du satellite : m se simplifie.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Montrer que le mouvement du satellite est uniforme et établir l'expression de sa vitesse $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T + h}}$.

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

Or, d'après Q.5 : $\vec{a} = 0\,\vec{u}_t + \dfrac{G\,M_T}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}_n$.

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

Par identification selon $\vec{u}_n$: $\dfrac{v^2}{R_T + h} = \dfrac{G\,M_T}{(R_T + h)^2}$, soit $v^2 = \dfrac{G\,M_T}{R_T + h}$.

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{G\,M_T}{R_T + h}}}$$

PIÈGE
Dire « l'accélération est constante donc le mouvement est uniforme » : le vecteur $\vec{a}$ tourne. C'est la composante tangentielle nulle qui prouve l'uniformité.

COMPRENDRE
Numériquement $v = 7{,}51\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$, soit $2{,}7 \times 10^4\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$: on retrouve la vitesse annoncée par l'énoncé.

Q.7 En déduire l'expression de la période de révolution du satellite en fonction de G, M_T, R_T, h. Calculer sa valeur.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6{,}37 \times 10^6$ m ; $h = 692 \times 10^3$ m

En une période T, le satellite parcourt à vitesse constante le périmètre de son orbite : $v = \dfrac{2\pi\,(R_T + h)}{T}$, donc

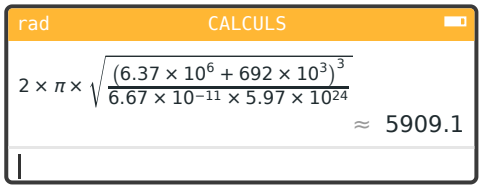
$$T = \frac{2\pi\,(R_T + h)}{v} = 2\pi\,(R_T + h)\sqrt{\frac{R_T + h}{G\,M_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G\,M_T}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}37 \times 10^6 + 692 \times 10^3)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}} = 5{,}91 \times 10^3\ \mathrm{s}$$

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G\,M_T}} = 5{,}91 \times 10^3\ \mathrm{s}\text{, soit environ 98 min.}}$$

COMPRENDRE
Vérification avec la figure 2 : 16 positions séparées de $\Delta t = 369{,}3$ s font un tour complet, soit $16 \times 369{,}3 = 5{,}91 \times 10^3$ s.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Le satellite repasse tous les 46 jours à la verticale d'un même point. Déterminer le nombre d'orbites parcourues avant de repasser au-dessus de ce point.

Données utiles $T = 5{,}91 \times 10^3$ s (Q.7)

Durée entre deux passages : $\Delta t_{46} = 46 \times 24 \times 3600 = 3{,}97 \times 10^6$ s.

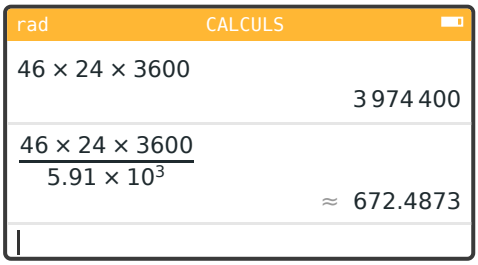
Nombre d'orbites, chacune de durée T :

$$N = \frac{\Delta t_{46}}{T} = \frac{46 \times 24 \times 3600}{5{,}91 \times 10^3} = 672$$

$N \approx 6{,}7 \times 10^2$: le satellite effectue environ 670 orbites en 46 jours.

PIÈGE
Diviser des jours par des secondes : les deux durées doivent être dans la même unité.

À LA CALCULATRICE



Q.9 Écrire la relation entre la longueur d'onde, la célérité et la période de l'onde, en précisant les unités.

$\lambda = c \times T$, avec λ en mètres (m), c en mètres par seconde ($\mathrm{m \cdot s^{-1}}$) et T en secondes (s).

COMPRENDRE
La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période.

Q.10 Justifier, à l'aide de la figure 3, que les ondes émises par ALOS, de longueur d'onde 23,6 cm, appartiennent au domaine des ondes radio.

Données utiles $\lambda = 23{,}6$ cm ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

L'axe de la figure 3 est gradué en fréquence : $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{c}{\lambda}$

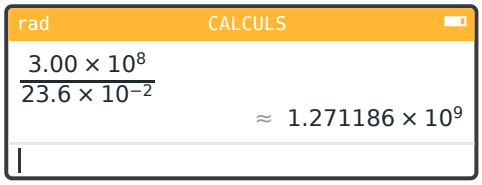
$$f = \frac{3{,}00 \times 10^8}{23{,}6 \times 10^{-2}} = 1{,}27 \times 10^9\ \mathrm{Hz}$$

Sur la figure 3, les ondes radio s'étendent de 10 kHz (10^4 Hz) à 300 GHz (3×10^{11} Hz).

$f = 1{,}27 \times 10^9\ \mathrm{Hz} = 1{,}27\ \mathrm{GHz}$, valeur comprise entre 10 kHz et 300 GHz : ce sont des ondes radio.

PIÈGE
Laisser λ en centimètres, ou chercher 23,6 cm directement sur un axe gradué en hertz.

À LA CALCULATRICE



Q.11 En exprimant les distances parcourues par l'onde radar lors du premier et du deuxième passage, établir que $\delta = 2\,d$.

L'onde fait un aller-retour entre le satellite et le sol.

Premier passage : le sol est à la distance L, l'onde parcourt $2L$.

Deuxième passage : le sol s'est contracté, il s'est éloigné de d dans l'axe de visée ; l'onde parcourt $2\,(L + d)$.

$\delta = 2\,(L + d) - 2L = 2\,d$

PIÈGE
Oublier le retour de l'onde et écrire $\delta = d$: le radar reçoit l'onde réfléchie, le supplément de trajet est parcouru deux fois.

Q.12 En déduire que les deux ondes sont en phase si $d = k \times \dfrac{\lambda}{2}$, avec k entier.

Deux ondes sont en phase (interférences constructives) si leur différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde : $\delta = k\,\lambda$, avec k entier.

Avec $\delta = 2\,d$ (Q.11) : $2\,d = k\,\lambda$.

$d = k \times \dfrac{\lambda}{2}$, avec k entier

COMPRENDRE
D'une frange claire à la suivante, k augmente de 1 : le sol s'est déplacé d'une demi-longueur d'onde supplémentaire, soit 11,8 cm ici.

Q.13 Déterminer l'entier k entre les points A et B et en déduire la variation d'altitude du point B, en supposant que A n'a pas subi de déplacement.

Données utiles $\lambda = 23{,}6$ cm ; figure 5

A est dans une zone claire et n'a pas bougé : $k = 0$ en A.

En allant de A vers B sur la figure 5, on traverse 6 franges sombres : B se trouve dans la sixième zone claire après celle de A, donc $k = 6$.

$$d = k \times \frac{\lambda}{2} = 6 \times \frac{23{,}6}{2} = 70{,}8 \text{ cm}$$

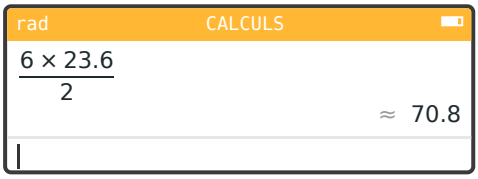
Le sol s'est contracté : le point B s'est éloigné du satellite, il est descendu.

$k = 6$: l'altitude du point B a diminué d'environ 71 cm (déplacement mesuré dans l'axe de visée).

PIÈGE
Compter les zones claires, point A compris, et prendre ce nombre pour k : avec 7 zones claires de A à B, il n'y a que 6 intervalles.

COMPRENDRE
Les franges du centre sont serrées et en partie masquées par la croix : un comptage à une frange près (59 à 83 cm) reste acceptable s'il est justifié.

À LA CALCULATRICE



Des batteries à flux redox organiques

Bac 2024 Amérique du Nord Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Écrire les deux réactions électrochimiques qui modélisent les transformations se produisant aux électrodes.

Données utiles couples BQDS / $\mathrm{H_2BQDS}$ et AQS / $\mathrm{H_2AQS}$

Chaque couple échange deux électrons et deux ions $\mathrm{H^+}$:

$$\mathrm{BQDS} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2BQDS}$$

$$\mathrm{AQS} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2AQS}$$

$\mathrm{BQDS} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2BQDS}$ et $\mathrm{AQS} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2AQS}$

COMPRENDRE
Le signe « = » convient tant que le sens réel n'est pas connu. Il sera fixé par l'équation de la décharge donnée ensuite.

MÉTHODE
Entre l'oxydant et le réducteur, la différence est de deux atomes H : on équilibre avec $2\,\mathrm{H^+}$, puis les charges avec $2\,\mathrm{e^-}$. On vérifie que la charge totale est nulle de chaque côté.

Q.2 Définir un oxydant. Identifier l'oxydant et le réducteur lors de la transformation $\mathrm{BQDS} + \mathrm{H_2AQS} \longrightarrow \mathrm{H_2BQDS} + \mathrm{AQS}$.

Un oxydant est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs électrons.

Lors de la décharge, BQDS se transforme en $\mathrm{H_2BQDS}$: il capte deux électrons (réduction), c'est l'oxydant.

$$\mathrm{BQDS} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-} \longrightarrow \mathrm{H_2BQDS}$$

$\mathrm{H_2AQS}$ se transforme en AQS : il cède deux électrons (oxydation), c'est le réducteur.

$$\mathrm{H_2AQS} \longrightarrow \mathrm{AQS} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-}$$

Oxydant : BQDS ; réducteur : $\mathrm{H_2AQS}$.

PIÈGE
Chercher l'oxydant et le réducteur parmi les produits. Dans une transformation, ce sont les deux réactifs : ici BQDS et $\mathrm{H_2AQS}$, pas AQS ni $\mathrm{H_2BQDS}$.

Q.3 Déterminer, à l'aide des polarités de la cellule et des équations aux électrodes, si la solution de BQDS est l'électrolyte 1 ou l'électrolyte 2. Justifier.

Données utiles figure 1 : l'électrolyte 1 baigne l'électrode $+$, l'électrolyte 2 l'électrode $-$

Dans une pile, les électrons circulent dans le circuit extérieur de la borne $-$ vers la borne $+$. Ils arrivent donc à l'électrode $+$, où ils sont consommés : il s'y produit une réduction.

L'espèce réduite pendant la décharge est BQDS (Q.2). La solution de BQDS est donc en contact avec l'électrode $+$, qui est celle de l'électrolyte 1.

La solution de BQDS est l'électrolyte 1 (la solution de $\mathrm{H_2AQS}$ est l'électrolyte 2).

MÉTHODE
En mode pile : borne $+$ = arrivée des électrons = réduction (cathode) ; borne $-$ = départ des électrons = oxydation (anode). On associe ensuite chaque demi-équation à son électrode.

Q.4 Déterminer le sens de circulation des ions H^+ à travers la membrane. Justifier.

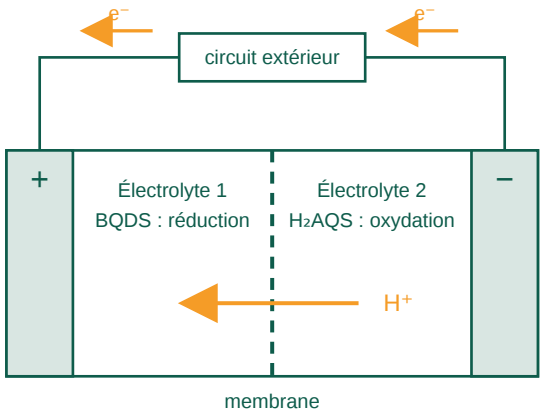
Du côté de l'électrode $-$ (électrolyte 2), l'oxydation $H_2AQS \longrightarrow AQS + 2\,H^+ + 2\,e^-$ produit des ions H^+.

Du côté de l'électrode $+$ (électrolyte 1), la réduction $BQDS + 2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2BQDS$ en consomme.

Pour que chaque solution reste électriquement neutre, les ions H^+ traversent la membrane du compartiment où ils apparaissent vers celui où ils disparaissent.

Les ions H^+ vont de l'électrolyte 2 vers l'électrolyte 1.

COMPRENDRE
La membrane joue le rôle du pont salin d'une pile de laboratoire : elle ferme le circuit. Les cations se déplacent dans le sens du courant, vers l'électrode où a lieu la réduction.



Q.4 · Cellule en mode pile : déplacement des porteurs de charge

Q.5 Montrer que la capacité électrique de la cellule a une valeur proche de $Q = 5{,}4 \times 10^6$ C.

Données utiles $I = 250$ A ; $\Delta t = 6{,}0$ h

La cellule débite un courant d'intensité constante I pendant la durée Δt : $Q = I \times \Delta t$, avec Δt en secondes.

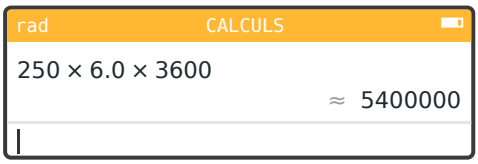
$$Q = 250 \times 6{,}0 \times 3600 = 5{,}4 \times 10^6 \text{ C}$$

$Q = 5{,}4 \times 10^6$ C : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser la durée en heures : $250 \times 6{,}0 = 1{,}5 \times 10^3$ est une capacité en A·h, pas en coulombs. Un coulomb vaut un ampère-seconde.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la durée $6{,}0$ h, donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Déterminer le volume de chaque électrolyte nécessaire au fonctionnement de la cellule, puis le volume réel sachant que seulement 70 % des électrons contribuent au courant.

Données utiles $Q = 5{,}4 \times 10^6$ C (Q.5) ; $F = 96\,500$ C · mol^{-1} ; $C = 1{,}0$ mol · L^{-1}

Quantité d'électrons échangés : $Q = n(\mathrm{e}^-) \times F$, donc $n(\mathrm{e}^-) = \dfrac{Q}{F}$.

D'après $\mathrm{BQDS} + 2\,\mathrm{H}^+ + 2\,\mathrm{e}^- \longrightarrow \mathrm{H_2BQDS}$, une mole de BQDS consomme deux moles d'électrons : $n(\mathrm{BQDS}) = \dfrac{n(\mathrm{e}^-)}{2} = \dfrac{Q}{2F}$.

Comme $n(\mathrm{BQDS}) = C \times V$:

$$V = \frac{Q}{2\,F\,C} = \frac{5{,}4 \times 10^6}{2 \times 96\,500 \times 1{,}0} = 28\ \mathrm{L}$$

$\mathrm{H_2AQS}$ cède aussi deux électrons par molécule et a la même concentration : le volume est le même pour l'autre électrolyte.

Seuls 70 % des électrons sont utiles : il faut une quantité de réactif, donc un volume, plus grand.

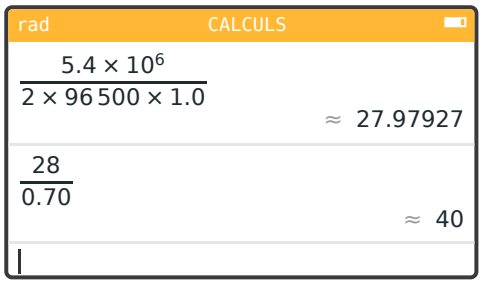
$$V_{\text{réel}} = \frac{V}{0{,}70} = \frac{28}{0{,}70} = 40\ \mathrm{L}$$

$V = 28$ L en théorie et $V_{\text{réel}} = 40$ L pour chacun des deux électrolytes.

PIÈGE
Multiplier par $0{,}70$ au lieu de diviser : on obtiendrait moins de solution qu'en théorie, alors qu'un rendement imparfait impose d'en prévoir davantage. Autre oubli fréquent : le facteur 2 des électrons.

MÉTHODE
Chaîne à retenir pour une pile : $Q = I\,\Delta t$, puis $n(\mathrm{e}^-) = Q/F$, puis la demi-équation pour passer à la quantité de réactif, enfin $n = C\,V$.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Déterminer le volume total de chaque électrolyte nécessaire au fonctionnement du système de 60 cellules pendant 6,0 h.

Données utiles $V_{\text{réel}} = 40$ L par cellule (Q.6)

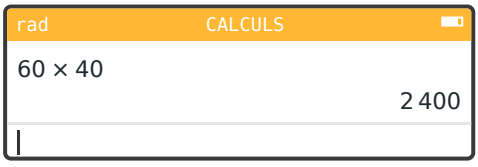
Les 60 cellules sont en série : chacune est traversée par le même courant de 250 A pendant 6,0 h et consomme donc 40 L de chaque électrolyte.

$$V_{\text{tot}} = 60 \times V_{\text{réel}} = 60 \times 40 = 2{,}4 \times 10^3\ \mathrm{L}$$

$V_{\text{tot}} = 2{,}4 \times 10^3$ L pour chaque électrolyte.

COMPRENDRE
En série, l'intensité est commune et les tensions s'ajoutent. Les mêmes électrons traversent les 60 cellules, mais chaque cellule doit réaliser sa propre réaction : les quantités de réactifs s'additionnent.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Proposer une solution simple pour doubler la durée de fonctionnement du système à puissance délivrée constante.

À puissance constante, la tension et l'intensité ne changent pas. Doubler la durée revient à doubler la charge $Q = I \times \Delta t$, donc la quantité de matière de réactifs disponible.

Il suffit de doubler le volume de solution contenu dans chaque réservoir de stockage, sans modifier les cellules. On peut aussi doubler la concentration des solutions, si la solubilité des espèces le permet.

On double le volume des réservoirs d'électrolytes (ou la concentration des solutions).

PIÈGE
Proposer de doubler le nombre de cellules : la tension passerait à 120 V et la puissance doublerait, ce qui contredit la condition de l'énoncé.

Q.9 Déterminer la puissance électrique du système. En déduire l'énergie, en W·h, produite lorsqu'il délivre du courant pendant 6,0 h.

Données utiles $U_{\text{système}} = 60$ V ; $I = 250$ A ; $\Delta t = 6{,}0$ h

Puissance électrique : $P = U_{\text{système}} \times I$

$$P = 60 \times 250 = 1{,}5 \times 10^4 \text{ W}$$

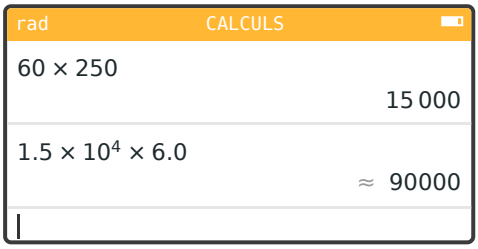
Énergie délivrée : $E = P \times \Delta t$, avec P en watts et Δt en heures pour un résultat en W·h.

$$E = 1{,}5 \times 10^4 \times 6{,}0 = 9{,}0 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{h}$$

$P = 1{,}5 \times 10^4$ W et $E = 9{,}0 \times 10^4$ W·h.

PIÈGE
Convertir la durée en secondes par habitude : on obtient alors des joules ($3{,}2 \times 10^8$ J), alors que l'énoncé demande des W·h.

À LA CALCULATRICE



Q.10 Déterminer si la batterie à flux redox étudiée peut se positionner sur le marché. Justifier.

Données utiles $E = 9{,}0 \times 10^4$ W·h (Q.9) ; $V_{\text{tot}} = 2{,}4 \times 10^3$ L par électrolyte (Q.7) ; seuil : $10 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$

Le volume total d'électrolytes réunit les deux solutions : $V_{\text{élec}} = 2 \times V_{\text{tot}}$.

Énergie volumique :

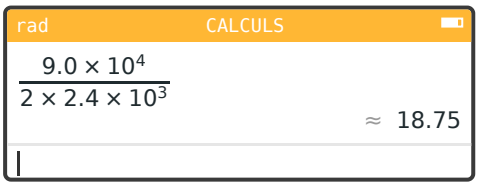
$$E_V = \frac{E}{2\,V_{\text{tot}}} = \frac{9{,}0 \times 10^4}{2 \times 2{,}4 \times 10^3} = 19 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$$

Cette valeur est supérieure au minimum requis de $10 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$.

$E_V = 19 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1} > 10 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$: la batterie peut se positionner sur le marché.

PIÈGE
Diviser par le volume d'un seul électrolyte : on trouverait le double. La conclusion serait la même ici, mais la valeur serait fausse.

À LA CALCULATRICE



Le gallate de propyle

Bac 2024 Amérique du Nord Jour 1 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 38 min**

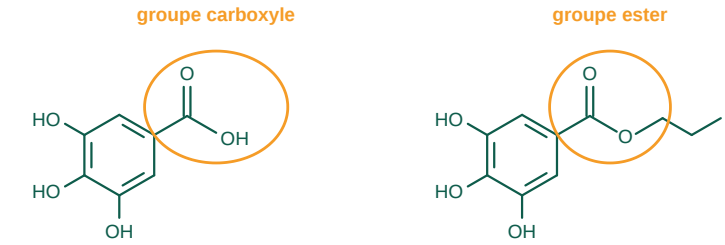
Q.1 Recopier les formules de l'acide gallique et du gallate de propyle, entourer les groupes caractéristiques modifiés lors de la transformation et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

Les deux formules sont recopiées sur la figure ; le seul groupe qui change est celui porté par le carbone lié au cycle.

- Acide gallique : groupe **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$, famille des **acides carboxyliques**.
- Gallate de propyle : groupe **ester** $-\mathrm{COO-C}$, famille des **esters**.

Le groupe carboxyle (acide carboxylique) est transformé en groupe ester (ester).

PIÈGE
Entourer aussi les trois groupes hydroxyle du cycle : ils sont identiques dans les deux molécules, donc non modifiés. Ne pas confondre le nom du groupe (carboxyle) et celui de la famille (acide carboxylique).



acide gallique
famille des acides carboxyliques

gallate de propyle
famille des esters

Q.1 · Formules recopiées : groupes caractéristiques modifiés entourés en orange

Q.2 Représenter sur l'annexe les flèches courbes de l'acte élémentaire correspondant à l'étape 3 du mécanisme, en justifiant leur sens.

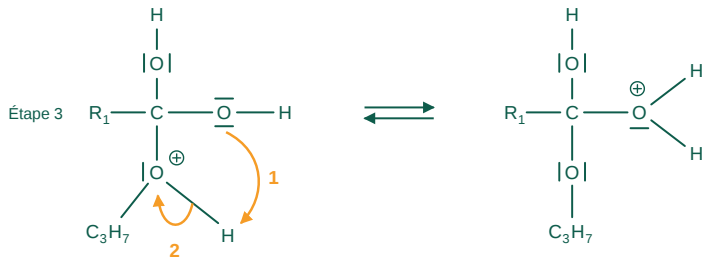
Une flèche courbe part d'un doublet d'électrons (site donneur) et pointe vers un site accepteur.

- Flèche 1 : elle part d'un doublet non liant de l'atome O du groupe $\mathrm{O-H}$ situé à droite, riche en électrons, et arrive sur l'atome H lié à l'oxygène chargé $+$, pauvre en électrons. Une liaison $\mathrm{O-H}$ se forme.
- Flèche 2 : l'atome H ne peut former qu'une liaison. Le doublet liant entre cet atome H et l'oxygène chargé $+$ se rabat sur cet oxygène : la liaison se rompt, l'oxygène récupère un doublet non liant et perd sa charge.

Deux flèches : doublet non liant de O vers H, puis doublet liant $\mathrm{O-H}$ vers l'oxygène chargé $+$ (voir l'annexe complétée).

PIÈGE
Faire partir une flèche de l'atome H ou de la charge $+$. Une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet : son origine est toujours un doublet, liant ou non liant.

COMPRENDRE
Le bilan de l'étape 3 est le transfert d'un ion $\mathrm{H^+}$ d'un oxygène à l'autre. Il prépare l'étape 4 : le groupe $-\mathrm{OH_2^+}$ obtenu peut partir sous forme d'une molécule d'eau.



Q.2 · Annexe complétée : flèches courbes de l'étape 3 en orange

Q.3 Représenter le schéma de Lewis de l'espèce chimique A obtenue lors de l'étape 4 et justifier le qualificatif d'intermédiaire réactionnel donné à cette entité.

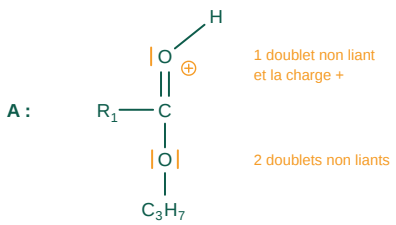
D'après les flèches de l'étape 4, la liaison entre C et l'oxygène chargé $+$ se rompt (départ de H_2O) et un doublet non liant de l'oxygène du haut forme une seconde liaison avec C.

Dans A, cet oxygène est donc doublement lié à C, reste lié à H, ne garde qu'un doublet non liant et porte la charge $+$. L'oxygène lié à C_3H_7 conserve ses deux doublets non liants.

A est produite à l'étape 4 puis consommée à l'étape 5 : elle n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

A est l'espèce $R_1-C(OH)-O-C_3H_7$ chargée $+$ (schéma ci-dessous) ; formée puis consommée au cours du mécanisme, c'est un intermédiaire réactionnel.

MÉTHODE
Contrôler le schéma par deux bilans. Atomes : A contient tous les atomes du réactif sauf ceux de H_2O. Charge : le réactif porte une charge $+$ et l'eau est neutre, donc A porte une charge $+$.



Q.3 · Schéma de Lewis de l'espèce A

Q.4 Indiquer le rôle joué par les ions hydrogène H^+ lors de cette transformation.

Les ions H^+ sont écrits au-dessus de la flèche : ils ne figurent ni parmi les réactifs ni parmi les produits de l'équation. Consommés au début du mécanisme, ils sont régénérés à la fin.

Les ions H^+ sont un catalyseur : ils augmentent la vitesse de la transformation sans modifier son bilan.

PIÈGE
Écrire que le catalyseur améliore le rendement. Il permet d'atteindre plus vite l'état final, mais ne change pas cet état final.

Q.5 Indiquer l'intérêt d'introduire en excès le propan-1-ol.

La transformation n'est pas totale : les étapes du mécanisme sont écrites avec des doubles flèches et le rendement n'est que de 60 %. Mettre un réactif en excès déplace l'équilibre dans le sens direct, celui de la formation de l'ester.

L'excès de propan-1-ol augmente le rendement de la synthèse : une plus grande part de l'acide gallique, réactif limitant, est transformée.

COMPRENDRE
Pour optimiser le rendement d'une synthèse limitée, deux leviers sont au programme : introduire un réactif en excès ou éliminer un produit au fur et à mesure de sa formation.

Q.6 Déterminer la masse d'acide gallique nécessaire pour obtenir 500 litres d'huile possédant la teneur maximale en conservateur autorisée par la réglementation. Commenter le résultat.

Données utiles teneur maximale $t = 200\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; $V = 500\ \text{L}$; $\rho_{\text{huile}} = 0{,}91\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $M_1 = 170{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_2 = 212{,}2\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; rendement $\eta = 60\ \%$

Masse d'huile : $m_{\text{huile}} = \rho_{\text{huile}} \times V = 0{,}91 \times 500 = 455\ \text{kg}$.

Masse de gallate de propyle à obtenir : $m_2 = t \times m_{\text{huile}} = 200 \times 10^{-3} \times 455 = 91\ \text{g}$.

Quantité de matière correspondante : $n_2 = \dfrac{m_2}{M_2} = \dfrac{91}{212{,}2} = 0{,}429\ \text{mol}$.

Le propan-1-ol est en excès : l'acide gallique est le réactif limitant. D'après l'équation, une mole d'acide donnerait au maximum une mole d'ester, donc $n_{\text{max}} = n_1$. Avec le rendement $\eta = \dfrac{n_2}{n_{\text{max}}}$:

$$n_1 = \frac{n_2}{\eta} = \frac{0{,}429}{0{,}60} = 0{,}715\ \text{mol}$$

$$m_1 = n_1 \times M_1 = 0{,}715 \times 170{,}1 = 1{,}2 \times 10^2\ \text{g}$$

Commentaire : environ 120 g d'acide gallique suffisent pour traiter 455 kg d'huile. Le conservateur agit à très faible teneur (0,020 % en masse). Cette masse est un maximum : en utiliser davantage ferait dépasser la limite réglementaire.

$m_1 = \dfrac{\rho_{\text{huile}}\, V\, t\, M_1}{\eta\, M_2} \approx 1{,}2 \times 10^2\ \text{g}$, soit environ 0,12 kg d'acide gallique.

PIÈGE
Multiplier par 0,60 au lieu de diviser. Le rendement est inférieur à 1 : il faut plus d'acide que la quantité d'ester voulue. Vérifier que $n_1 > n_2$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ_{huile} et le rendement, données les moins précises. Les valeurs intermédiaires sont gardées avec un chiffre de plus pour ne pas cumuler les arrondis.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan avant de calculer (masse d'huile, masse d'ester, quantité d'ester, quantité d'acide, masse d'acide). Chaque étape correctement posée rapporte des points, même si le résultat final manque.

À LA CALCULATRICE

