Corrigé complet — Bac 2024 Amérique du Nord Jour 2

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

Ex 1	**Points de règlement au tennis de table** Deuxième loi de Newton · Chute libre verticale · Équations horaires · Énergie mécanique · Effet Doppler · Langage Python	11 pts	1 h 55	18 questions	p. 2
Ex 2	**Une batterie comestible** Couple oxydant / réducteur · Fonctionnement d'une pile · Charge électrique et intensité · Constante de Faraday · Capacité d'une pile · Énergie électrique	5 pts	53 min	9 questions	p. 8
Ex 3	**Acidité totale d'un vin** Groupes caractéristiques · Diagramme de prédominance · Indicateur coloré · Titrage et équivalence · Incertitude-type · Concentration en masse	4 pts	38 min	9 questions	p. 12

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.

Points de règlement au tennis de table

Bac 2024 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 55**

Q.1 Exprimer les composantes a_x et a_y du vecteur accélération $\vec{a}$ du point M, à un instant quelconque du mouvement.

Système {balle}, de masse m ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Les frottements de l'air étant négligés, la seule force est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical et dirigé vers le bas, alors que l'axe (Oy) est dirigé vers le haut :

$a_x = 0$ et $a_y = -g$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : $\vec{g}$ pointe vers le bas, à l'opposé de $\vec{j}$. Donner le résultat sans le système, le référentiel et le bilan des forces fait aussi perdre des points.

Q.2 Justifier à l'aide de la figure 2 que la norme $v(t)$ du vecteur vitesse de la balle est assimilable à la valeur de sa composante verticale v_y.

Sur la chronophotographie, les positions successives de la balle sont alignées sur une même verticale : la balle ne se déplace pas selon (Ox), donc $v_x = 0$.

De plus, la balle monte : $v_y > 0$.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_y^2} = |v_y|$$

$v(t) = v_y(t)$ pendant la montée de la balle.

COMPRENDRE
L'égalité ne vaut que pendant la montée. À la descente, v_y devient négative alors qu'une norme reste positive : on aurait $v = -v_y$.

Q.3 En déduire que la vitesse $v(t)$ du point M peut être modélisée sous la forme $v(t) = -g \times t + v_0$.

Par définition, $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$. Sur l'axe (Oy) : $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = -g$.

On cherche une primitive : $v_y(t) = -g \times t + C$, où C est une constante.

Condition initiale : à $t = 0$, $\vec{v}_0$ est vertical vers le haut, donc $v_y(0) = v_0$, d'où $C = v_0$.

Comme $v_y(t) = v(t)$:

$v(t) = -g \times t + v_0$

MÉTHODE
Pour passer de l'accélération à la vitesse : 1) écrire $a_y = \mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t$; 2) primitiver sans oublier la constante ; 3) trouver la constante avec la valeur à $t = 0$.

Q.4 Justifier sans calcul que ce modèle de la vitesse $v(t)$ est en accord avec les points expérimentaux de la figure 3.

Le modèle $v(t) = -g \times t + v_0$ est une fonction affine du temps, de coefficient directeur négatif $-g$ et d'ordonnée à l'origine v_0.

Sur la figure 3, les points expérimentaux sont alignés sur une droite décroissante qui ne passe pas par l'origine.

Les points de la figure 3 suivent bien une loi affine décroissante : le modèle est en accord avec l'expérience.

Q.5 En déduire une valeur de l'intensité g du champ de pesanteur terrestre local.

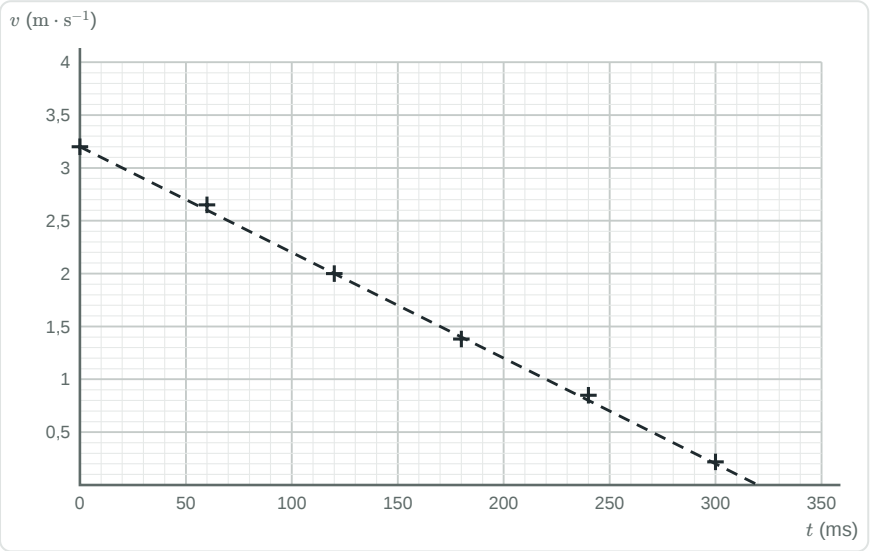
Données utiles figure 3 : points $(0\ \text{ms}\ ;\ 3{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ et $(300\ \text{ms}\ ;\ 0{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})$

D'après le modèle, le coefficient directeur k de la droite vaut $-g$.

On le calcule avec le premier et le dernier point, en convertissant les dates en secondes :

$$k = \frac{v_B - v_A}{t_B - t_A} = \frac{0{,}2 - 3{,}2}{0{,}300 - 0} = -10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$g = -k = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

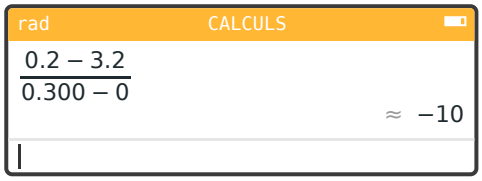


Q.5 · Figure 3 du sujet, avec la droite modèle passant par les deux points utilisés

PIÈGE
Laisser les dates en millisecondes : on trouverait $0{,}010$ au lieu de 10. Choisir deux points éloignés, cela réduit l'effet des erreurs de lecture.

COMPRENDRE
Les vitesses sont lues à $0{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ près, avec deux chiffres significatifs : le résultat n'en garde pas plus de deux. Et $1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} = 1\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Proposer une origine à l'écart observé avec la valeur de référence $g = 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

La valeur obtenue ($10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) est un peu supérieure à la valeur de référence ($9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Les vitesses viennent d'un pointage sur une vidéo : le repérage du centre de la balle sur chaque image et l'étalonnage des distances sont imprécis, tout comme la lecture des valeurs sur le graphique.

L'écart s'explique surtout par l'imprécision du pointage vidéo et de la lecture graphique. Les frottements de l'air, négligés dans le modèle, peuvent aussi y contribuer.

COMPRENDRE
À la montée, les frottements s'ajoutent au poids pour freiner la balle : elle ralentit plus vite, ce qui donne une valeur de g apparente plus grande, comme ici.

Q.7 Montrer que l'équation horaire de la position du point M s'écrit $y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t$.

Par définition, $\vec{v} = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$. Sur l'axe (Oy) : $v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = -g \times t + v_0$.

On cherche une primitive : $y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t + C'$, où C' est une constante.

Condition initiale : à $t = 0$, M est à l'origine O du repère, donc $y(0) = 0$, d'où $C' = 0$.

$$y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t$$

PIÈGE
Annoncer $C' = 0$ sans le justifier. C'est la phrase du sujet « M se trouve à l'origine du repère à $t = 0$ » qui le permet : il faut la citer.

Q.8 Exploiter les expressions de $y(t)$ et $v(t)$ pour justifier la formule `v_0 = np.sqrt(2*g*h_max)` de la ligne 6 du programme.

Au sommet de la trajectoire, atteint à la date t_S, la vitesse de la balle s'annule :

$v(t_S) = 0$, soit $-g \times t_S + v_0 = 0$, donc $t_S = \dfrac{v_0}{g}$.

La hauteur maximale est la position à cette date :

$$h_{MAX} = y(t_S) = -\frac{1}{2} \times g \times \left(\frac{v_0}{g}\right)^2 + v_0 \times \frac{v_0}{g} = -\frac{v_0^2}{2\,g} + \frac{v_0^2}{g} = \frac{v_0^2}{2\,g}$$

Donc $v_0^2 = 2 \times g \times h_{MAX}$.

$v_0 = \sqrt{2 \times g \times h_{MAX}}$, ce qui s'écrit bien `np.sqrt(2*g*h_max)` en Python.

COMPRENDRE
La masse de la balle n'intervient pas : sans frottement, toutes les balles lancées à la même vitesse montent à la même hauteur.

MÉTHODE
Hauteur maximale d'un lancer vertical : 1) la vitesse est nulle au sommet, ce qui donne la date ; 2) on reporte cette date dans $y(t)$.

Q.9 Recopier et compléter la fenêtre d'exécution avec la valeur de `h_max` correspondant à l'article 2.6.2 du règlement.

Données utiles article 2.6.2 : la balle s'élève d'au moins 16 cm

La hauteur minimale imposée est $h_{MAX} = 16\ \text{cm} = 0{,}16\ \text{m}$.

Le programme utilise $g = 9{,}81$ en unités du Système international : la hauteur se saisit en mètres, avec un point décimal.

```
h_max = 0.16
```

PIÈGE
Saisir 16 : le programme calculerait la vitesse pour une hauteur de 16 m. En Python, le séparateur décimal est le point, pas la virgule.

Q.10 Calculer la valeur minimale de v_0 que le programme va afficher.

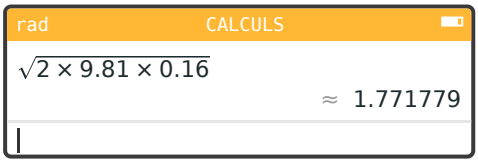
Données utiles $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$; $h_{MAX} = 0{,}16\ \text{m}$ (Q.9)

$$v_0 = \sqrt{2 \times g \times h_{MAX}} = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 0{,}16}$$

$v_0 = 1{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 16 cm. Le programme, lui, affiche toutes les décimales calculées : 1.7717787672280078.

À LA CALCULATRICE



Q.11 Compléter la ligne 8 du programme de la figure 5 afin de calculer la vitesse de lancer en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

$1\ \text{km} = 1000\ \text{m}$ et $1\ \text{h} = 3600\ \text{s}$, donc

$$1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{10^{-3}\ \text{km}}{\frac{1}{3600}\ \text{h}} = 3{,}6\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$$

La ligne 10 affiche la variable `v_ini` : c'est elle que la ligne 8 doit calculer.

Ligne 8 : `v_ini = 3.6*v_0`

PIÈGE
Diviser par 3,6 au lieu de multiplier, ou nommer la variable autrement que `v_ini` : la ligne 10 provoquerait alors une erreur.

Q.12 Associer, pour la première phase du mouvement (entre 0,00 et 0,24 s), les symboles ●, ▲ et ✚ aux énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur, en justifiant.

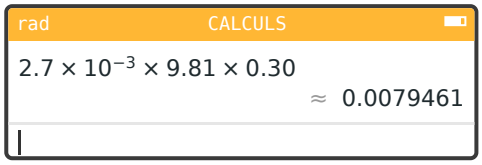
Pendant cette phase, la balle tombe.

- Elle est lâchée sans vitesse initiale puis sa vitesse augmente : l'énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ part de zéro et augmente. C'est la courbe ●.
- Son altitude y diminue : l'énergie potentielle de pesanteur $E_{pp} = m\,g\,y$ diminue jusqu'à zéro au niveau de la table. C'est la courbe ▲.
- L'énergie mécanique $E_m = E_c + E_{pp}$ est la somme des deux autres : elle est supérieure ou égale à chacune d'elles et reste presque constante. C'est la courbe ✚.

● : énergie cinétique ; ▲ : énergie potentielle de pesanteur ; ✚ : énergie mécanique.

COMPRENDRE
Vérification : $E_{pp}(0) = m\,g\,h = 2{,}7 \times 10^{-3} \times 9{,}81 \times 0{,}30 \approx 7{,}9\ \text{mJ}$, c'est bien la valeur de départ des ▲.

À LA CALCULATRICE



Q.13 Vérifier par le calcul, à l'aide de quelques données prises sur la figure 6, que l'énergie mécanique se conserve après le rebond et a une valeur proche de 6,7 mJ.

Données utiles lectures sur la figure 6 pour $t > 0{,}24$ s (● : E_c ; ▲ : E_{pp})

On calcule $E_m = E_c + E_{pp}$ à trois dates après le rebond :

- à $t \approx 0{,}255$ s : $E_m = 6{,}1 + 0{,}6 = 6{,}7$ mJ ;
- à $t \approx 0{,}29$ s : $E_m = 4{,}5 + 2{,}2 = 6{,}7$ mJ ;
- à $t \approx 0{,}32$ s : $E_m = 3{,}3 + 3{,}4 = 6{,}7$ mJ.

Aux incertitudes de lecture près, E_m garde la même valeur aux trois dates : elle se conserve et vaut environ $6{,}7$ mJ.

COMPRENDRE
Avant le rebond, $E_m \approx 7{,}9$ mJ : la balle perd environ $1{,}2$ mJ lors du choc avec la table. C'est pour cela qu'elle remonte moins haut.

Q.14 Déterminer la hauteur du rebond de la balle. Commenter.

Données utiles $E_m = 6{,}7$ mJ (Q.13) ; $m = 2{,}7$ g ; $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$; article 2.1.3 : rebond d'environ 23 cm

Au sommet du rebond, à la hauteur h', la vitesse de la balle est nulle : $E_c = 0$, donc toute l'énergie mécanique est sous forme potentielle.

Comme E_m se conserve après le rebond : $E_m = m \times g \times h'$, soit $h' = \frac{E_m}{m \times g}$.

$$h' = \frac{6{,}7 \times 10^{-3}}{2{,}7 \times 10^{-3} \times 9{,}81} = 0{,}25\ \text{m}$$

Le règlement prévoit un rebond d'environ 23 cm pour une chute de 30 cm. On trouve 2 cm de plus, soit un écart d'environ 9 %.

$h' = 25$ cm : valeur proche des 23 cm réglementaires. Compte tenu de l'imprécision du pointage, le rebond est conforme à l'article 2.1.3.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes ou l'énergie en millijoules sans cohérence : E_m en joules et m en kilogrammes donnent h' en mètres. « Commenter » est noté : il faut comparer aux 23 cm.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) nommer la grandeur cherchée ; 2) dire quelle énergie s'annule au sommet ; 3) utiliser la conservation de E_m ; 4) comparer au règlement.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.7 \times 10^{-3}}{2.7 \times 10^{-3} \times 9.81} \approx 0.2529543$$

$$\frac{25 - 23}{23} \approx 0.08695652$$

Q.15 Expliquer pourquoi la situation illustre l'effet Doppler.

Le cinémomètre, immobile, émet une onde de fréquence f_0 vers la balle. La balle, qui est en mouvement par rapport à l'appareil, réfléchit cette onde vers le récepteur.

À cause de ce mouvement relatif, l'onde reçue a une fréquence f_R différente de la fréquence émise f_0.

Il y a un décalage de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçue, dû au mouvement de la balle par rapport au cinémomètre : c'est l'effet Doppler.

COMPRENDRE
L'effet Doppler exige un mouvement relatif entre la source de l'onde et le récepteur. Ici, la balle joue le rôle d'une source mobile en renvoyant l'onde.

Q.16 Déterminer le signe du décalage Doppler lorsque la balle smashée s'approche du cinémomètre.

Le décalage Doppler est $\Delta f = f_R - f_0$.

Quand la balle se rapproche de l'appareil, l'onde réfléchie est reçue avec une fréquence plus grande que la fréquence émise : $f_R > f_0$.

$\Delta f = f_R - f_0 > 0$: le décalage Doppler est positif.

COMPRENDRE
Même phénomène qu'une sirène qui s'approche : le son perçu est plus aigu, sa fréquence est plus élevée. En s'éloignant, la fréquence perçue diminue et $\Delta f < 0$.

Q.17 Calculer la vitesse du smash du joueur amateur.

Données utiles $|\Delta f| = 4470$ Hz ; $f_0 = 24{,}125$ GHz $= 24{,}125 \times 10^9$ Hz ; $c_{onde} = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1}

L'onde est électromagnétique : sa célérité dans l'air est pratiquement celle de la lumière dans le vide, $c_{onde} = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1}.

On isole v dans $|\Delta f| = 2 \times f_0 \times \dfrac{v}{c_{onde}}$:

$$v = \frac{|\Delta f| \times c_{onde}}{2 \times f_0} = \frac{4470 \times 3{,}00 \times 10^8}{2 \times 24{,}125 \times 10^9}$$

$v = 27{,}8$ m · s^{-1}

PIÈGE
Oublier de convertir les gigahertz en hertz, ou oublier le facteur 2 de la formule (l'onde fait un aller-retour). Sur la calculatrice, mettre le dénominateur entre parenthèses.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la célérité. Le décalage est minuscule devant f_0 (4470 Hz pour 24 milliards de hertz) car la balle est très lente devant la lumière.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{4470 \times 3.00 \times 10^8}{2 \times 24.125 \times 10^9} \approx 27.79275$$

Q.18 Indiquer, en justifiant, si la vitesse du smash du joueur amateur est du même ordre de grandeur que le record du monde.

Données utiles $v = 27{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Q.17) ; record : $112{,}5\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

On convertit la vitesse du smash : $v = 27{,}8 \times 3{,}6 = 100\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} = 1{,}00 \times 10^2\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Le record vaut $112{,}5\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} = 1{,}125 \times 10^2\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

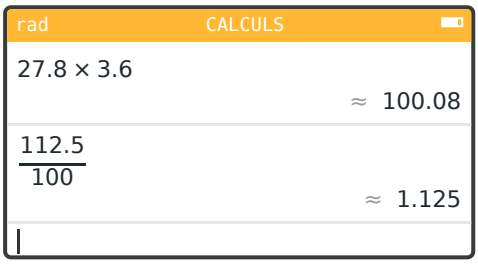
Les deux vitesses ont la même puissance de dix la plus proche, $10^2\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Oui : les deux vitesses sont du même ordre de grandeur, $10^2\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Le record n'est que 1,1 fois plus rapide.

PIÈGE

Comparer $27{,}8$ et $112{,}5$ sans les mettre dans la même unité. On peut aussi convertir le record : $112{,}5 \div 3{,}6 = 31{,}3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Une batterie comestible

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

Q.1 Écrire l'équation de la réaction électrochimique modélisant la transformation de la riboflavine lors du fonctionnement de la pile.

Données utiles couple $C_{17}H_{18}N_4O_6\,(s)$ / $C_{17}H_{20}N_4O_6\,(s)$; riboflavine : $C_{17}H_{20}N_4O_6$

La riboflavine $C_{17}H_{20}N_4O_6$ est le réducteur de son couple : elle ne peut que se transformer en son oxydant conjugué.

$$C_{17}H_{20}N_4O_6\,(s) = C_{17}H_{18}N_4O_6\,(s) + 2\,H^+\,(aq) + 2\,e^-$$

PIÈGE
Écrire la demi-équation dans le sens « oxydant → réducteur » par habitude. L'oxydant $C_{17}H_{18}N_4O_6$ n'est pas présent au départ dans la pile.

MÉTHODE
Repérer d'abord l'espèce réellement déposée sur l'électrode grâce à sa formule brute : elle est du côté des réactifs. Équilibrer ensuite H avec H^+, puis les charges avec les électrons.

Q.2 En déduire si la riboflavine subit une oxydation ou une réduction. Justifier.

D'après l'équation de la Q.1, la riboflavine cède deux électrons.

Une perte d'électrons est une **oxydation** : la riboflavine est oxydée.

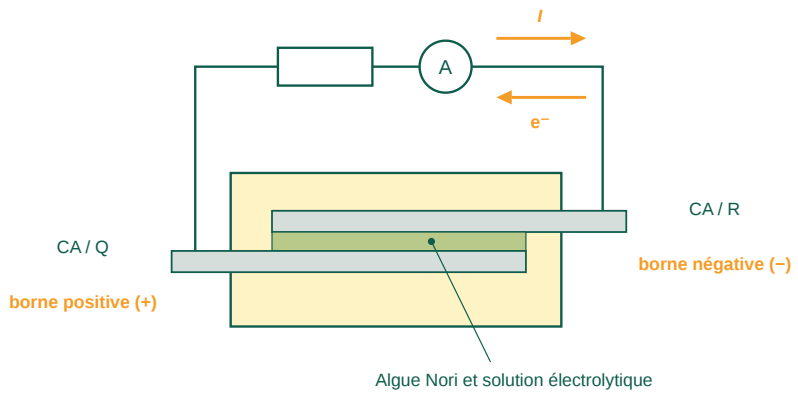
Q.3 Compléter le schéma de la pile en annexe : borne positive, borne négative, sens du courant et sens des électrons dans le circuit.

À l'électrode CA / R, l'oxydation de la riboflavine libère des électrons qui partent dans le circuit : CA / R est la borne négative.

L'électrode CA / Q reçoit ces électrons (réduction de la quercétine) : c'est la borne positive.

Les électrons circulent de CA / R vers CA / Q dans le circuit ; le courant, de sens opposé, va de CA / Q (borne $+$) vers CA / R (borne $-$).

COMPRENDRE
Hors de la pile, le courant sort par la borne positive et rentre par la borne négative. Les électrons, de charge négative, se déplacent en sens inverse du sens conventionnel du courant.



Q.3 · Annexe complétée

Q.4 Indiquer le rôle joué par le film d'algue Nori immergé dans la solution électrolytique d'hydrogénosulfate de sodium.

Le film d'algue sépare les deux électrodes : il empêche leur contact direct, donc tout échange d'électrons ailleurs que par le circuit extérieur.

Imbibé de solution ionique, il laisse migrer les ions d'une électrode à l'autre.

Le film d'algue joue le rôle d'un **pont salin** : il ferme le circuit électrique et assure l'électroneutralité au voisinage de chaque électrode.

COMPRENDRE
Dans les fils, le courant est porté par les électrons ; dans la pile, par les ions Na^+, HSO_4^- et H^+. Sans cette jonction ionique, la pile ne débite pas.

Q.5 Déterminer la charge électrique Q délivrée par la pile pendant les 12 min de fonctionnement.

Données utiles $I = 48\ \mu A$; $\Delta t = 12\ min$

L'intensité est constante : $Q = I \times \Delta t$, avec I en ampère et Δt en seconde.

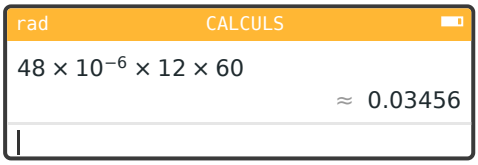
$$Q = 48 \times 10^{-6} \times (12 \times 60) = 3{,}5 \times 10^{-2}\ C$$

$Q = 3{,}5 \times 10^{-2}\ C$

PIÈGE
Laisser I en microampère ou Δt en minute. Le coulomb est un ampère-seconde : $1\ C = 1\ A \cdot s$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme I et Δt. Pour les calculs suivants, on garde la valeur non arrondie $3{,}456 \times 10^{-2}$ C en mémoire.

À LA CALCULATRICE



Q.6 En déduire que la quantité de matière d'électrons n_e consommée par l'électrode recouverte de quercétine pendant Δt vaut $n_e = 3{,}6 \times 10^{-7}$ mol.

Données utiles $Q = 3{,}456 \times 10^{-2}\ C$ (Q.5) ; $F = 96\,500\ C \cdot mol^{-1}$

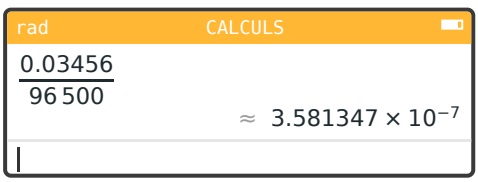
Une mole d'électrons porte, en valeur absolue, la charge F : $Q = n_e \times F$, donc $n_e = \dfrac{Q}{F}$.

$$n_e = \frac{3{,}456 \times 10^{-2}}{96\,500} = 3{,}58 \times 10^{-7}\ mol$$

$n_e = 3{,}6 \times 10^{-7}$ mol, ce qui est bien la valeur attendue.

COMPRENDRE
$F = N_A \times e$: on obtient le même résultat avec $n_e = \dfrac{Q}{N_A \times e}$, en comptant d'abord le nombre d'électrons $\dfrac{Q}{e}$.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Indiquer si, au bout de 12 min, la demi-pile est déchargée en calculant le pourcentage de quercétine consommée pendant cette durée.

Données utiles $n_e = 3{,}58 \times 10^{-7}$ mol (Q.6) ; $m_i = 0{,}60$ mg de quercétine ; $M = 302{,}24\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

D'après l'équation à l'électrode CA / Q, une mole de quercétine consomme deux moles d'électrons :

$$n_{\text{cons}} = \frac{n_e}{2} = \frac{3{,}58 \times 10^{-7}}{2} = 1{,}8 \times 10^{-7}\ \text{mol}$$

Quantité initiale de quercétine : $n_i = \dfrac{m_i}{M} = \dfrac{0{,}60 \times 10^{-3}}{302{,}24} = 2{,}0 \times 10^{-6}\ \text{mol}$

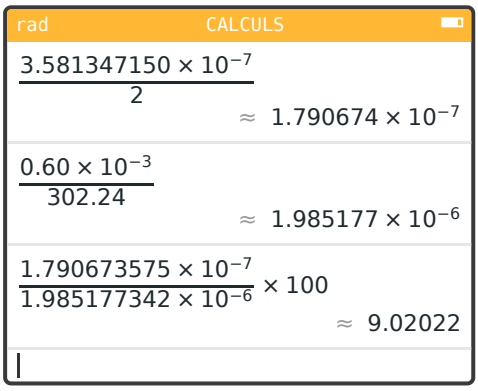
Pourcentage consommé : $\dfrac{n_{\text{cons}}}{n_i} \times 100 = \dfrac{1{,}79 \times 10^{-7}}{1{,}99 \times 10^{-6}} \times 100 = 9{,}0\ \%$

Seuls $9{,}0\ \%$ de la quercétine ont été consommés : la demi-pile n'est pas déchargée.

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 des électrons (on trouverait 18 %), ou laisser la masse en milligramme alors que M est en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

MÉTHODE
Pourcentage consommé = quantité consommée ÷ quantité initiale × 100. Garder les valeurs non arrondies dans la calculatrice : arrondir chaque intermédiaire à deux chiffres peut décaler le dernier chiffre du résultat.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Indiquer la courbe qui représente la charge de la batterie comestible en analysant le graphe de la figure 2. Expliquer.

Sur la courbe a, la tension aux bornes de la batterie augmente de 0,60 V à 0,80 V ; sur la courbe b, elle diminue de 0,80 V à 0,60 V.

Quand une batterie débite, sa tension baisse peu à peu ; quand on la recharge, sa tension remonte.

La charge correspond à la **courbe a** (tension croissante) ; la courbe b représente la décharge.

COMPRENDRE
La courbe b atteint 0,60 V vers 710 s, soit environ 12 min : c'est la durée de fonctionnement annoncée au début de l'exercice.

Q.9 Calculer, avec les données de la figure 4, la capacité en ampère-heure de la pile Nickel Métal Hybride. Discuter de la possibilité d'une réelle application de la batterie comestible dans la vie courante.

Données utiles figure 4 : $U = 1{,}2$ V ; $E = 0{,}048$ W · h ; figure 3 : capacité de la batterie comestible en décharge ≈ 10 μA · h

La capacité est la charge maximale que la pile peut débiter : $Q_{\text{NMH}} = I \times \Delta t$.

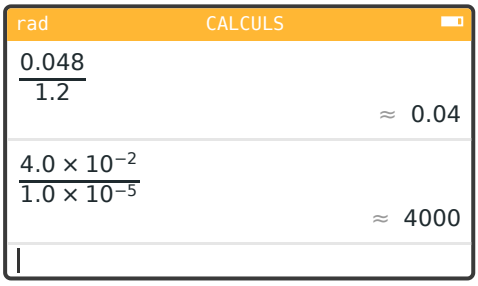
Énergie stockée : $E = P \times \Delta t = U \times I \times \Delta t = U \times Q_{\text{NMH}}$, donc $Q_{\text{NMH}} = \dfrac{E}{U}$.

$$Q_{\text{NMH}} = \frac{0{,}048}{1{,}2} = 4{,}0 \times 10^{-2} \text{ A} \cdot \text{h}$$

D'après la figure 3, la batterie comestible restitue environ 10 μA · h $= 1{,}0 \times 10^{-5}$ A · h à chaque décharge, soit $\dfrac{4{,}0 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-5}} = 4{,}0 \times 10^{3}$ fois moins.

$Q_{\text{NMH}} = 4{,}0 \times 10^{-2}$ A · h, soit 4000 fois la capacité de la batterie comestible : celle-ci ne peut pas remplacer une pile de jouet ; elle reste réservée à de très petits dispositifs fonctionnant quelques minutes.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Calculer la capacité sans conclure. « Discuter » demande une comparaison chiffrée avec la figure 3 et une phrase sur l'usage possible.

COMPRENDRE
Des W · h divisés par des volts donnent directement des A · h, sans conversion en joule ni en seconde. Contrôle : 48 μA pendant 0,20 h donnent $9{,}6$ μA · h, en accord avec la figure 3.

Acidité totale d'un vin

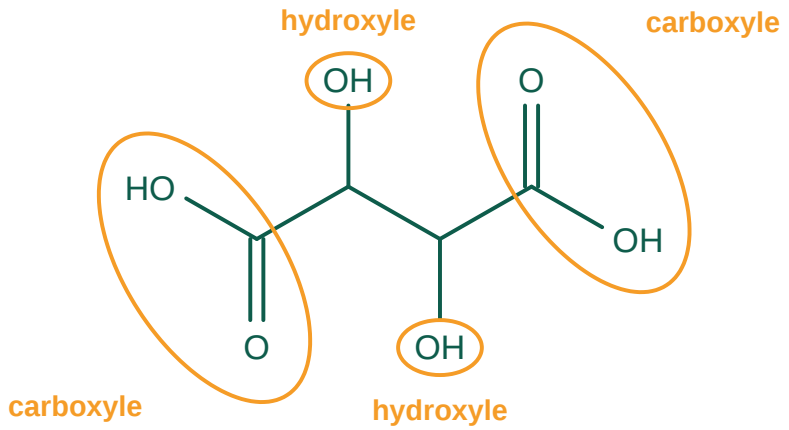
Bac 2024 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 38 min**

Q.1 Reproduire la formule topologique de l'acide tartrique et entourer les groupes caractéristiques.

La molécule porte quatre groupes caractéristiques, entourés sur la formule ci-dessous.

Deux groupes **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$ (aux extrémités de la chaîne) et deux groupes **hydroxyle** $-\mathrm{OH}$ (sur les deux carbones centraux).

PIÈGE
Entourer séparément le $\mathrm{C{=}O}$ et le $-\mathrm{OH}$ d'une extrémité : portés par le même carbone, ils forment un seul groupe, le carboxyle.



Q.1 · Acide tartrique : deux groupes carboxyle et deux groupes hydroxyle entourés

Q.2 Nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

Groupe carboxyle : famille des **acides carboxyliques**.

Groupe hydroxyle : famille des **alcools**.

L'acide tartrique appartient aux familles des acides carboxyliques et des alcools.

COMPRENDRE
Le groupe se lit sur la formule, la famille désigne les molécules qui le portent. « Hydroxyle » répond à Q.1, « alcool » à Q.2.

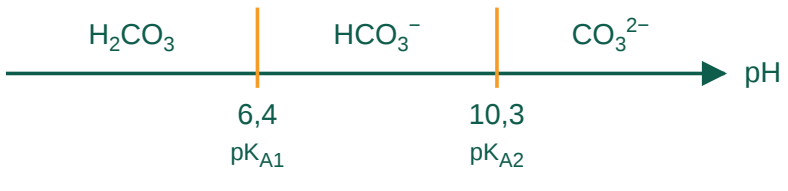
Q.3 Représenter le diagramme de prédominance des couples $\mathrm{H_2CO_3}$ / $\mathrm{HCO_3^-}$ et $\mathrm{HCO_3^-}$ / $\mathrm{CO_3^{2-}}$.

Données utiles $\mathrm{p}K_{A1}(\mathrm{H_2CO_3}\ /\ \mathrm{HCO_3^-}) = 6{,}4$; $\mathrm{p}K_{A2}(\mathrm{HCO_3^-}\ /\ \mathrm{CO_3^{2-}}) = 10{,}3$

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

$\mathrm{H_2CO_3}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 6{,}4$; $\mathrm{HCO_3^-}$ pour $6{,}4 < \mathrm{pH} < 10{,}3$; $\mathrm{CO_3^{2-}}$ pour $\mathrm{pH} > 10{,}3$.

MÉTHODE
Axe horizontal gradué en pH, une frontière par $\mathrm{p}K_A$, puis les espèces de la plus acide (à gauche) à la plus basique (à droite).



Q.3 · Diagramme de prédominance de l'acide carbonique et de ses bases

Q.4 En déduire pourquoi il faut d'abord éliminer l'acide carbonique du vin.

Données utiles pH d'un vin compris entre 2,70 et 3,70

Le pH du vin est inférieur à $\mathrm{p}K_{A1} = 6{,}4$: le dioxyde de carbone dissous s'y trouve sous la forme acide $\mathrm{H_2CO_3}$, qui prédomine.

Cet acide réagirait avec les ions $\mathrm{HO^-}$ versés pendant le titrage, alors qu'il ne fait pas partie de l'acidité du vin.

Sans cette étape, le volume versé à l'équivalence serait trop grand et l'acidité totale serait surestimée.

COMPRENDRE
Un titrage ne trie pas les acides : tout ce qui réagit avec $\mathrm{HO^-}$ avant l'équivalence est compté. D'où l'élimination préalable de l'espèce que la définition exclut.

Q.5 Indiquer, en justifiant, l'indicateur coloré à utiliser dans l'étape 2 du protocole.

Données utiles équivalence supposée atteinte à $\mathrm{pH} = 7{,}0$; zones de virage : jaune d'alizarine R 1,9 – 3,3 ; bleu de bromothymol 6,0 – 7,6 ; phénolphtaléine 8,2 – 10,0

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

Ici $\mathrm{pH}_E = 7{,}0$, et seul l'intervalle 6,0 – 7,6 contient cette valeur.

Il faut utiliser le **bleu de bromothymol** : la solution passe du jaune au bleu à l'équivalence.

PIÈGE
Citer l'indicateur sans le critère. La justification attendue est la comparaison entre pH_E et la zone de virage.

Q.6 Déterminer la valeur de l'acidité totale AT du vin analysé.

Données utiles $C_B = 0{,}100\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_A = 5{,}0$ mL ; $V_B = 3{,}5$ mL ; $M(\mathrm{H_2SO_4}) = 98{,}1\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

À l'équivalence, les réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de $\mathrm{H_2SO_4 + 2\,HO^- \longrightarrow {SO_4}^{2-} + 2\,H_2O}$:

$$n(\mathrm{H_2SO_4}) = \frac{n(\mathrm{HO^-})}{2} \quad \text{soit} \quad C_A V_A = \frac{C_B V_B}{2}$$

$$C_A = \frac{C_B V_B}{2\,V_A} = \frac{0{,}100 \times 3{,}5}{2 \times 5{,}0} = 3{,}5 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

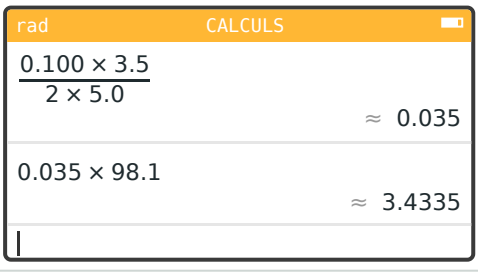
L'acidité totale est la concentration en masse équivalente : $AT = C_A \times M(\mathrm{H_2SO_4}) = 3{,}5 \times 10^{-2} \times 98{,}1$

$AT = 3{,}4\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : une mole d'acide consomme deux moles de $\mathrm{HO^-}$. Sans lui, on trouve $6{,}9\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, le double.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_A et V_B, les données les moins précises. Les deux volumes peuvent rester en mL : leur rapport est sans unité.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Calculer la valeur moyenne $\overline{AT}$ de l'acidité totale et l'incertitude-type $u(\overline{AT})$, puis écrire le résultat de la mesure, $u(\overline{AT})$ étant donnée avec un seul chiffre significatif.

Données utiles dix valeurs en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: 3,41 ; 3,38 ; 3,52 ; 3,45 ; 3,43 ; 3,45 ; 3,44 ; 3,41 ; 3,42 ; 3,40

Avec le mode statistique de la calculatrice : $\overline{AT} = 3{,}431\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ et écart-type expérimental $s(AT) = 3{,}84 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$u(\overline{AT}) = \frac{s(AT)}{\sqrt{n}} = \frac{3{,}84 \times 10^{-2}}{\sqrt{10}} = 1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

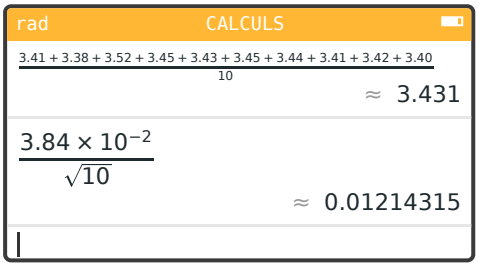
Avec un seul chiffre significatif, arrondi par excès : $u(\overline{AT}) = 0{,}02\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. L'incertitude porte sur les centièmes, la moyenne s'arrête donc aux centièmes.

$\overline{AT} = 3{,}43\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ avec $u(\overline{AT}) = 0{,}02\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Lire le mauvais écart-type : il faut l'écart-type expérimental (noté s_x ou σ_{n-1}), $0{,}0384$, et non $\sigma_x = 0{,}0365$.

COMPRENDRE
Une incertitude se majore : $0{,}012$ devient $0{,}02$, pour ne pas annoncer une mesure plus précise qu'elle ne l'est. Avec l'arrondi au plus proche, $0{,}01$, la conclusion de Q.8 reste la même.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Comparer cette acidité totale moyenne à la valeur souhaitée par le viticulteur. Conclure.

Données utiles $AT_{\text{ref}} = 3{,}45\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $\overline{AT} = 3{,}43\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ et $u(\overline{AT}) = 0{,}02\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q.7)

On calcule le quotient donné par l'énoncé :

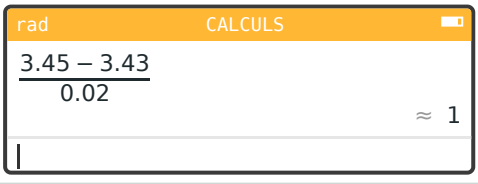
$$\frac{|\overline{AT} - AT_{\text{ref}}|}{u(\overline{AT})} = \frac{|3{,}43 - 3{,}45|}{0{,}02} = 1$$

L'écart entre la mesure et la valeur souhaitée vaut une seule incertitude-type : il est inférieur à 2 incertitudes-types.

Quotient égal à 1 : la mesure est compatible avec $3{,}45\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, l'acidité totale du vin est restée stable.

MÉTHODE
Quotient inférieur ou égal à 2 : mesure et référence sont compatibles. Au-delà, l'écart ne s'explique plus par la seule dispersion des mesures.

À LA CALCULATRICE



Q.9 Choisir, en justifiant, la proposition exacte sur l'intervalle réglementaire de l'acidité totale exprimée en Alsace en équivalent d'acide tartrique.

Données utiles $M(\mathrm{H_2SO_4}) = 98{,}1\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{H_2A}) = 150{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; intervalle réglementaire en équivalent $\mathrm{H_2SO_4}$: 3,0 à 6,0 $\mathrm{g\cdot L^{-1}}$

Les deux acides sont des diacides : une mole de $\mathrm{H_2A}$ réagit avec deux moles de $\mathrm{HO^-}$, comme une mole de $\mathrm{H_2SO_4}$. Pour un même titrage, la concentration en quantité de matière C_A est donc la même ; seule la masse molaire change.

Comme $AT_{\text{Alsace}} = C_A \times M(\mathrm{H_2A})$ et $AT = C_A \times M(\mathrm{H_2SO_4})$:

$$AT_{\text{Alsace}} = AT \times \frac{M(\mathrm{H_2A})}{M(\mathrm{H_2SO_4})} = AT \times \frac{150{,}0}{98{,}1}$$

Borne basse : $3{,}0 \times \dfrac{150{,}0}{98{,}1} = 4{,}6\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$; borne haute : $6{,}0 \times \dfrac{150{,}0}{98{,}1} = 9{,}2\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$.

L'équation donnée par le sujet doit se lire avec $2\,\mathrm{H_2O}$ parmi les produits ; cela ne change rien au raisonnement.

Proposition **b** : entre $4{,}6\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$ et $9{,}2\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$.

COMPRENDRE

L'équation de l'énoncé, $\mathrm{H_2A + 2\,HO^- \longrightarrow A^{2-} + H_2O}$, n'est pas équilibrée : deux $\mathrm{H^+}$ cédés forment deux molécules d'eau. Seul le rapport 1 pour 2 entre l'acide et $\mathrm{HO^-}$ sert ici.

MÉTHODE

Sans calcul : la masse molaire de l'acide tartrique est la plus grande, donc les bornes augmentent. La proposition c (bornes plus petites) et la a (inchangées) sont écartées.

À LA CALCULATRICE

