Corrigé complet — Bac S 2017 Centres étrangers (ancien programme)

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

Ex 1	**Mission Apollo XIV** Célérité et durée de propagation · Incertitude relative · Champ de pesanteur lunaire · Mouvement dans un champ uniforme · Deuxième loi de Newton · Satellite en orbite circulaire	9 pts	1 h 30	13 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse de la benzoïne** Groupes caractéristiques et fonctions · Étapes d'un protocole de synthèse · Rendement · Énergie d'un photon · Énergie et puissance · Chimie verte	6 pts	1 h	8 questions	p. 9
Ex 3	**Valorisation du dioxyde de carbone** Titrage colorimétrique · Équivalence d'un titrage · Concentration massique et dilution · Quantité de matière et masse molaire · Bilan énergétique et proportionnalité	5 pts	50 min	8 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Un élevage de corail** Titrage colorimétrique · Équivalence · Incertitude de mesure · Concentration en masse · Densité et pourcentage massique · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 17

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.

Mission Apollo XIV

Bac S 2017 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Montrer que l'information donnée sur la durée T d'un aller-retour de l'impulsion laser (« quelques secondes ») est correcte.

Données utiles $D_{TL} = 3{,}84 \times 10^8$ m ; $c = 299\,792\,458$ m · s^{-1}

L'impulsion fait un aller-retour : elle parcourt la distance $2\,D_{TL}$ à la célérité c.

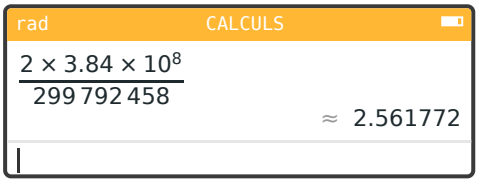
$$T = \frac{2\,D_{TL}}{c} = \frac{2 \times 3{,}84 \times 10^8}{299\,792\,458} = 2{,}56 \text{ s}$$

$T = 2{,}56$ s : la durée est bien de quelques secondes, l'information est correcte.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : la lumière va jusqu'à la Lune puis revient. Avec un aller simple on trouve 1,28 s, valeur qui ne correspond pas à la durée mesurée.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme D_{TL}, la donnée la moins précise. La célérité c est donnée avec neuf chiffres : elle ne limite pas la précision du résultat.

À LA CALCULATRICE



1.2 Quel type d'horloge faut-il utiliser pour obtenir la distance D_{TL} à 5 mm près ? Justifier.

Données utiles $U(D_{TL}) = 5$ mm ; $D_{TL} = 3{,}84 \times 10^8$ m ; précisions relatives : quartz 10^{-9}, césium 10^{-16}, optique 10^{-18}

Une distance connue à 5 mm près correspond à $U(D_{TL}) = 5 \times 10^{-3}$ m.

D'après la relation fournie :

$$\frac{U(T)}{T} = \frac{U(D_{TL})}{D_{TL}} = \frac{5 \times 10^{-3}}{3{,}84 \times 10^8} = 1 \times 10^{-11}$$

L'horloge doit avoir une précision relative inférieure ou égale à 1×10^{-11}.

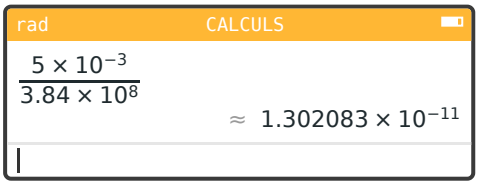
- Horloge à quartz : $10^{-9} > 10^{-11}$, elle ne convient pas.
- Horloge atomique au césium : $10^{-16} < 10^{-11}$, elle convient.

Il faut au moins une horloge atomique au césium (l'horloge optique, encore plus précise, convient aussi).

PIÈGE
Laisser 5 mm en millimètres alors que D_{TL} est en mètres : le rapport serait faux d'un facteur 1000. Un rapport d'incertitude relative se calcule avec deux grandeurs dans la même unité.

COMPRENDRE
Une précision relative est d'autant meilleure qu'elle est petite. Un seul chiffre significatif suffit ici, comme pour « 5 mm ». Le programme actuel note plutôt l'incertitude-type $u(T)$: le raisonnement est le même.

À LA CALCULATRICE



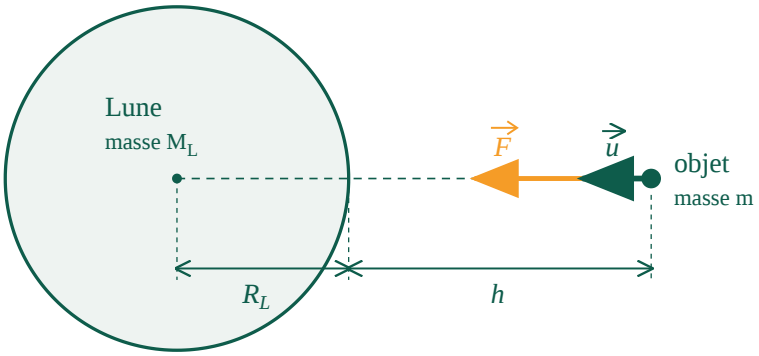
2.1 Faire un schéma d'un objet de masse m à l'altitude h au voisinage de la Lune, avec le vecteur unitaire $\vec{u}$ et la force $\vec{F}$ exercée par la Lune. Donner l'expression vectorielle de cette force.

Schéma ci-contre : $\vec{u}$ et $\vec{F}$ partent de l'objet et pointent tous deux vers le centre de la Lune.

La distance entre l'objet et le centre de la Lune est $R_L + h$. La force est attractive, donc de même sens que $\vec{u}$:

$$\vec{F} = G\,\frac{m\,M_L}{(R_L+h)^2}\,\vec{u}$$

PIÈGE
Écrire h^2 ou R_L^2 au dénominateur : la distance à prendre est celle entre l'objet et le centre de la Lune. Pas de signe « $-$ » non plus, car $\vec{u}$ est déjà orienté vers la Lune.



2.1 · Objet de masse m à l'altitude h : $\vec{u}$ et $\vec{F}$ sont dirigés vers le centre de la Lune

2.2.1 En supposant le poids sur la Lune égal à la force d'interaction gravitationnelle, donner l'expression vectorielle du champ de pesanteur $\vec{g}_L$ à l'altitude h.

Le poids de l'objet sur la Lune s'écrit $\vec{P} = m\,\vec{g}_L$.

Hypothèse : $\vec{P} = \vec{F}$, soit $m\,\vec{g}_L = G\,\dfrac{m\,M_L}{(R_L+h)^2}\,\vec{u}$. En simplifiant par m :

$$\vec{g}_L = G\,\frac{M_L}{(R_L+h)^2}\,\vec{u}$$

COMPRENDRE
La masse m de l'objet disparaît : le champ de pesanteur ne dépend que de l'astre et de la distance à son centre, pas de l'objet qu'on y place.

2.2.2 Calculer la valeur du champ de pesanteur g_L à la surface de la Lune.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; $M_L = 7{,}33 \times 10^{22}$ kg ; $R_L = 1{,}74 \times 10^3$ km

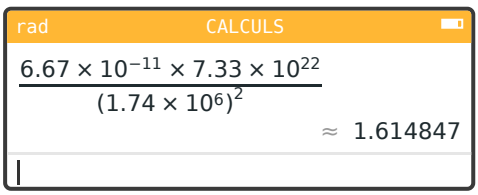
À la surface, $h = 0$, donc $g_L = \dfrac{G\,M_L}{R_L^2}$ avec $R_L = 1{,}74 \times 10^6$ m.

$$g_L = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 7{,}33 \times 10^{22}}{(1{,}74 \times 10^6)^2} = 1{,}61\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$g_L = 1{,}61\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

PIÈGE
Laisser R_L en kilomètres : le résultat serait un million de fois trop grand. Penser aussi au carré sur le rayon, parenthèses comprises à la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



2.2.3 Expliquer pourquoi Alan B. Shepard Jr parle de « faible gravité » sur la Lune.

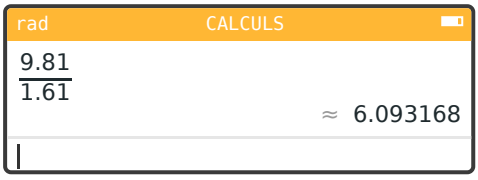
Données utiles $g_T = 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$; $g_L = 1{,}61\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$ (2.2.2)

On compare les deux champs de pesanteur : $\dfrac{g_T}{g_L} = \dfrac{9{,}81}{1{,}61} = 6{,}09$.

Le champ de pesanteur est environ 6 fois plus faible sur la Lune que sur la Terre : un même objet y pèse 6 fois moins, d'où l'expression « faible gravité ».

MÉTHODE
Pour justifier « faible » ou « fort », on compare toujours à une référence par un rapport chiffré. Écrire seulement « 1,61 est plus petit que 9,81 » est moins convaincant qu'un facteur 6.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 À partir des coordonnées du vecteur position $\overrightarrow{OM}$, montrer que, dans le modèle utilisé, seule la force d'interaction gravitationnelle a été prise en compte.

Données utiles $x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t$; $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g_L\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t$

On dérive deux fois les coordonnées de $\overrightarrow{OM}$ par rapport au temps.

Vitesse $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$: $\quad v_x = v_0\cos\alpha \quad ; \quad v_z = -g_L\,t + v_0\sin\alpha$

Accélération $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$: $\quad a_x = 0 \quad ; \quad a_z = -g_L$

Le champ $\vec{g}_L$ est vertical et dirigé vers le bas : ses coordonnées sont $(0\ ;\ -g_L)$. Donc $\vec{a} = \vec{g}_L$.

Deuxième loi de Newton appliquée à la balle (masse m constante) dans le référentiel lunaire supposé galiléen :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a} = m\,\vec{g}_L = \vec{P}$$

La somme des forces se réduit au poids $\vec{P} = m\,\vec{g}_L$, assimilé à la force d'interaction gravitationnelle (2.2.1) : c'est la seule force prise en compte.

COMPRENDRE
Ce modèle est réaliste sur la Lune, qui n'a pas d'atmosphère : il n'y a ni frottement ni poussée d'Archimède à ajouter au poids.

MÉTHODE
Raisonnement « à l'envers » : des équations horaires on remonte à l'accélération par deux dérivations, puis à la somme des forces par la deuxième loi de Newton.

2.3.2 a) En quoi l'expression de la portée $x_I = \dfrac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g_L}$ est-elle cohérente avec les trajectoires du graphique ? b) À quelle distance la balle aurait-elle été envoyée sur Terre avec les mêmes conditions initiales ? Commenter.

Données utiles portée sur la Lune $x_{I,L} = 470$ m ; $g_L = 1{,}61\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$; $g_T = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$

a) v_0 et g_L sont les mêmes pour toutes les courbes : la portée ne dépend que de $\sin(2\alpha)$.

- $\sin(2\alpha)$ est maximal, égal à 1, pour $2\alpha = 90^\circ$ soit $\alpha = 45^\circ$: sur le graphique, la trajectoire à 45° retombe bien le plus loin.
- $\sin(2 \times 15^\circ) = \sin(30^\circ)$ et $\sin(2 \times 75^\circ) = \sin(150^\circ)$ sont égaux à 0,5 : les courbes 15° et 75° ont le même point d'impact.
- De même $\sin(60^\circ) = \sin(120^\circ)$: les courbes 30° et 60° se rejoignent au sol.

L'expression est donc cohérente avec le graphique.

b) Mêmes conditions initiales : v_0 et α sont inchangés, seul le champ de pesanteur change. La portée est inversement proportionnelle à g :

$$\frac{x_{I,T}}{x_{I,L}} = \frac{g_L}{g_T} \quad \text{donc} \quad x_{I,T} = x_{I,L} \times \frac{g_L}{g_T} = 470 \times \frac{1{,}61}{9{,}81} = 77{,}1\ \text{m}$$

Sur Terre, la balle irait environ 6 fois moins loin. Par ailleurs, la portée lunaire de 470 m reste très inférieure aux « kilomètres et kilomètres » de l'interview : l'astronaute exagère.

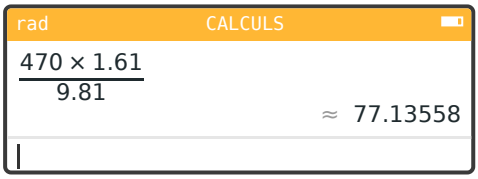
$x_{I,T} = 77{,}1$ m, soit 6 fois moins que sur la Lune.

PIÈGE
Sur Terre, les frottements de l'air ne sont plus négligeables pour une balle de golf : le modèle de la chute libre n'y donne qu'un ordre de grandeur.

COMPRENDRE
Les données sont légèrement incohérentes : avec $\alpha = 45^\circ$ et $v_0 = 100\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, la formule donne 479 m sur la Lune (et 78,7 m sur Terre), pas 470 m. La méthode du rapport évite ce problème.

MÉTHODE
Quand une seule grandeur change entre deux situations, on forme le rapport des deux expressions : tout ce qui est commun (v_0, α) se simplifie, sans conversion ni calcul intermédiaire.

À LA CALCULATRICE



3.1 Donner l'expression de la valeur de l'accélération de la capsule sur son orbite en fonction de G, M_L, h et R_L.

Système {capsule}, de masse m_C constante ; référentiel lunocentrique supposé galiléen ; seule force : l'attraction gravitationnelle de la Lune, $\vec{F} = G\dfrac{m_C\, M_L}{(R_L + h)^2}\vec{u}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m_C\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = G\dfrac{M_L}{(R_L + h)^2}\vec{u}$.

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

COMPRENDRE
L'accélération est dirigée vers le centre de la Lune (centripète) et ne dépend pas de la masse de la capsule. On reconnaît le champ g_L à l'altitude h (2.2.1).

3.2 Montrer que la valeur de la vitesse de la capsule est $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_L}{R_L + h}}$.

Le mouvement est circulaire et uniforme, de rayon $r = R_L + h$:

l'accélération est centripète, de valeur $a = \dfrac{v^2}{R_L + h}$.

En égalant avec l'expression de la question 3.1 :

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

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

PIÈGE

Prendre R_L ou h seul comme rayon de la trajectoire. Le centre du cercle est le centre de la Lune : le rayon de l'orbite est $R_L + h$.

3.3 Vérifier que la durée entre deux passages successifs de la capsule à la verticale du module lunaire vaut environ 2 h.

Données utiles $R_L = 1{,}74 \times 10^6$ m ; $h = 110$ km $= 1{,}10 \times 10^5$ m ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2} ; $M_L = 7{,}33 \times 10^{22}$ kg

La rotation de la Lune étant négligée, le module lunaire est immobile dans le référentiel lunocentrique : la durée cherchée est la période de révolution $T_{rév}$ de la capsule.

Rayon de l'orbite : $R_L + h = 1{,}74 \times 10^6 + 1{,}10 \times 10^5 = 1{,}85 \times 10^6$ m.

Vitesse : $v = \sqrt{\dfrac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 7{,}33 \times 10^{22}}{1{,}85 \times 10^6}} = 1{,}63 \times 10^3$ m $\cdot$ s^{-1}

En un tour, la capsule parcourt le périmètre $2\pi(R_L + h)$ à la vitesse constante v :

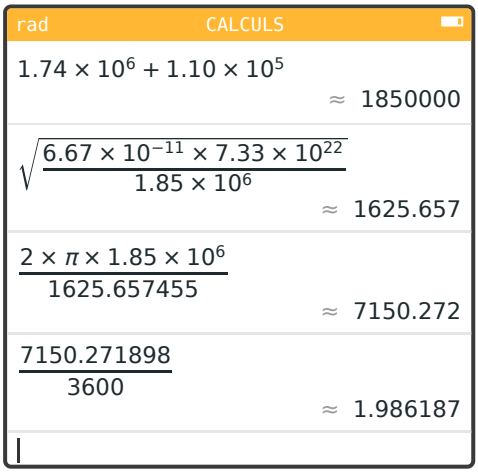
$$T_{rév} = \frac{2\pi\,(R_L + h)}{v} = \frac{2\pi \times 1{,}85 \times 10^6}{1{,}63 \times 10^3} = 7{,}15 \times 10^3 \text{ s}$$

$T_{rév} = 7{,}15 \times 10^3$ s $= 1{,}99$ h, soit environ 2 h : la valeur est vérifiée.

PIÈGE

Additionner R_L et h sans les mettre dans la même unité, ou arrondir v avant de calculer la période : garder la valeur complète en mémoire dans la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



3.4 Expliquer pourquoi la communication entre les astronautes sur la Lune et la capsule ne peut se faire que sur la partie de l'orbite représentée en gras.

Les ondes électromagnétiques utilisées pour communiquer se propagent en ligne droite et ne traversent pas la Lune.

La liaison n'est possible que si le segment qui joint le module lunaire à la capsule ne rencontre pas la Lune, c'est-à-dire si la capsule est au-dessus de l'horizon du module (le plan tangent à la surface lunaire au point où il est posé).

Seule la partie de l'orbite située au-dessus de cette tangente, tracée en gras, est en vue directe du module : ailleurs, la Lune fait obstacle.

COMPRENDRE

Aux deux extrémités de l'arc en gras, la droite capsule-module est tangente à la Lune : elle est donc perpendiculaire au rayon R_L. C'est ce triangle rectangle qui sert à la question suivante.

3.5 Quelle est la durée de communication possible à chaque révolution de la capsule ?

Données utiles $R_L = 1{,}74 \times 10^6$ m ; $R_L + h = 1{,}85 \times 10^6$ m ; $T_{rév} = 7{,}15 \times 10^3$ s (3.3)

Dans le triangle formé par le centre de la Lune, le module lunaire et la capsule en limite de visibilité, rectangle au module lunaire :

$$\cos\beta = \frac{R_L}{R_L + h} = \frac{1{,}74 \times 10^6}{1{,}85 \times 10^6} \quad \text{donc} \quad \beta = 19{,}9^\circ$$

L'arc en gras correspond à un angle au centre 2β, de part et d'autre de la verticale du module.

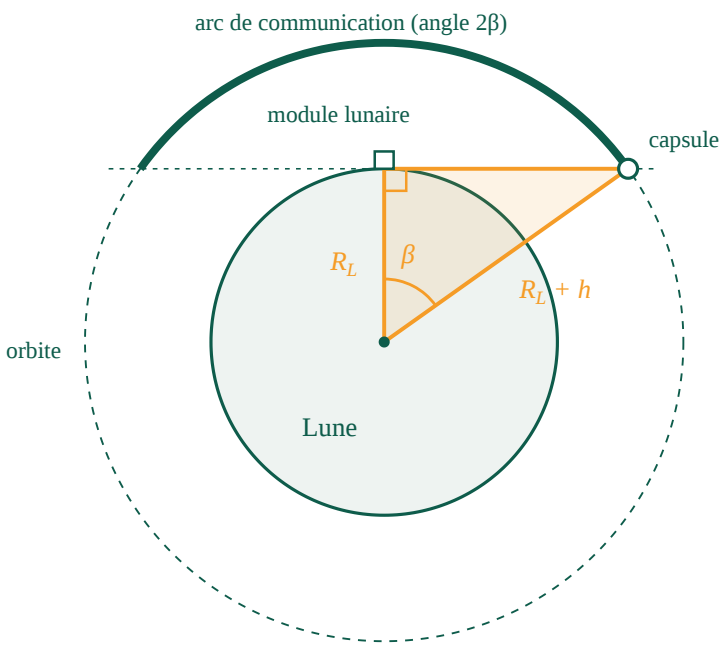
Le mouvement est uniforme : la durée de parcours est proportionnelle à l'angle balayé, et un tour (360°) dure $T_{rév}$.

$$\Delta t = \frac{2\beta}{360^\circ} \times T_{rév} = \frac{2 \times 19{,}86}{360} \times 7{,}15 \times 10^3 = 789 \text{ s}$$

$\Delta t = 789$ s, soit environ 13 min de communication par révolution (sur près de 2 h).

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : β ne couvre que la moitié de l'arc en gras. Le calcul utilise les valeurs non arrondies ; avec $19{,}9^\circ$ et $7{,}15 \times 10^3$ s on obtient 790 s, écart sans importance.

MÉTHODE
Mouvement circulaire uniforme : durée et angle balayé sont proportionnels. On passe donc d'un angle à une durée par une simple règle de trois avec la période (calculatrice en mode degrés pour l'arccosinus).



3.5 · Triangle rectangle au module lunaire : $\cos\beta = R_L/(R_L + h)$ (échelles non respectées)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.74 \times 10^6}{1.85 \times 10^6} \approx 0.9405405$

$\dfrac{2 \times 19.857}{360} \times 7150.27 \approx 788.794$

$\dfrac{788.8}{60} \approx 13.14667$

Synthèse de la benzoïne

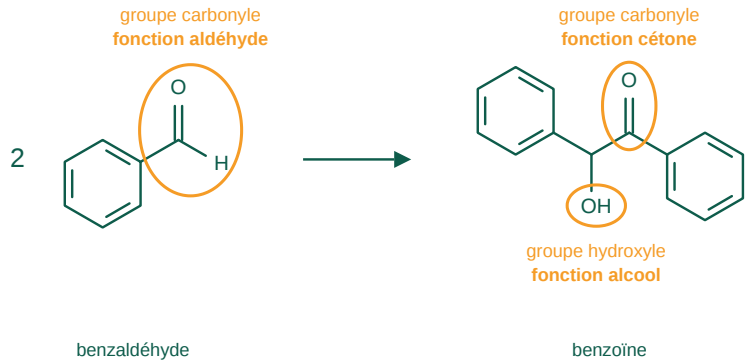
Bac S 2017 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1 Recopier l'équation de la réaction de synthèse, entourer les groupes caractéristiques du réactif et du produit, puis nommer les fonctions correspondantes.

Équation recopiée ci-dessous, groupes entourés.

- Réactif (benzaldéhyde) : groupe carbonyle en bout de chaîne, le carbone porte un atome H : fonction **aldéhyde**.
- Produit (benzoïne) : groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$: fonction **alcool** ; groupe carbonyle lié à deux atomes de carbone : fonction **cétone**.

Benzaldéhyde : aldéhyde. Benzoïne : alcool et cétone.



1 · Équation de la synthèse : groupes caractéristiques entourés et fonctions associées

PIÈGE
Les deux molécules portent un groupe carbonyle $\mathrm{C{=}O}$, mais la fonction diffère : aldéhyde si le carbone est lié à un H, cétone s'il est lié à deux carbones.

COMPRENDRE
Les cycles benzéniques ne sont pas des groupes caractéristiques au sens du programme : on n'entoure que les groupes contenant l'oxygène.

2.1.1 Justifier les mesures de sécurité préconisées dans le protocole.

- **Hotte aspirante** : le cyanure de potassium est toxique et peut dégager, en milieu acide, du cyanure d'hydrogène HCN, gaz toxique ; les vapeurs d'éthanol et de benzaldéhyde, chauffés, sont nocives ou irritantes.
- **Gants** : ils évitent tout contact de la peau avec le cyanure de potassium (toxique), le benzaldéhyde et l'éthanol (nocifs ou irritants).
- **Récupération des déchets** : le cyanure de potassium est dangereux pour l'environnement ; catalyseur, il n'est pas consommé et se retrouve donc entièrement dans les déchets, qu'on ne jette pas à l'évier.

Chaque mesure répond à un pictogramme : toxicité (hotte, gants), danger pour l'environnement (récupération des déchets).

MÉTHODE
Pour justifier une consigne de sécurité, relier chaque précaution à un pictogramme du tableau de données et à l'espèce concernée, en nommant le danger.

2.1.2 Repérer les quatre étapes (synthèse, séparation, purification, identification) dans les opérations ① à ⑩ du protocole.

- **Synthèse** : opérations ① et ② (introduction des réactifs, du solvant et du catalyseur, puis chauffage à reflux).
- **Séparation** : opérations ③ et ④ (cristallisation de la benzoïne par refroidissement, puis filtration sur Büchner).
- **Purification** : opérations ⑤ à ⑨ (lavage à l'eau glacée, séchage, recristallisation dans l'éthanol, filtration, séchage).
- **Identification** : opération ⑩ (mesure de la température de fusion).

Synthèse : ① et ② ; séparation : ③ et ④ ; purification : ⑤ à ⑨ ; identification : ⑩.

COMPRENDRE
La température de fusion mesurée (137 °C) est celle de la benzoïne donnée dans le tableau : le solide obtenu est bien de la benzoïne, et il est pur.

2.1.3 Justifier le choix de la température de l'étuve.

Données utiles $T_{éb}(\text{éthanol}) = 78$ °C ; $T_{éb}(\text{eau}) = 100$ °C ; $T_{\text{fusion}}(\text{benzoïne}) = 137$ °C

Le séchage doit éliminer l'eau et l'éthanol qui imprègnent encore les cristaux, sans abîmer le produit.

- À 100 °C, l'éthanol ($T_{éb} = 78$ °C) et l'eau ($T_{éb} = 100$ °C) se vaporisent.
- 100 °C est inférieur à la température de fusion de la benzoïne (137 °C) : le produit reste solide.

À 100 °C, les solvants sont éliminés et la benzoïne ne fond pas ($100\ ^\circ\text{C} < 137\ ^\circ\text{C}$).

2.2.1 Montrer que la masse maximale de benzoïne que l'on peut former vaut $m_{\text{théorique}} = 15{,}6$ g.

Données utiles Benzaldéhyde : $V = 15{,}0$ mL ; $\rho = 1{,}04\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M = 106\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Benzoïne : $M' = 212\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le benzaldéhyde est le seul réactif (les ions cyanure sont un catalyseur) : c'est le réactif limitant.

Quantité de benzaldéhyde introduite :

$$n = \frac{\rho V}{M} = \frac{1{,}04 \times 15{,}0}{106} = 0{,}147\ \text{mol}$$

D'après l'équation, il faut 2 moles de benzaldéhyde pour former 1 mole de benzoïne : $n_{\max} = \dfrac{n}{2}$.

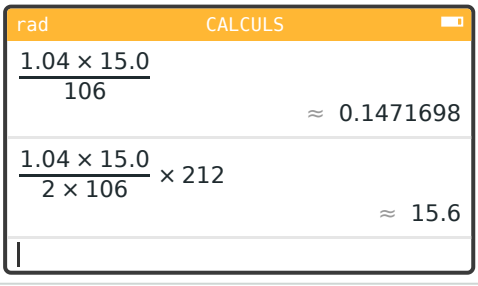
$$m_{\text{théorique}} = \frac{n}{2} M' = \frac{\rho V}{2M} M' = \frac{1{,}04 \times 15{,}0}{2 \times 106} \times 212 = 15{,}6\ \text{g}$$

$m_{\text{théorique}} = 15{,}6$ g, valeur attendue.

PIÈGE
Oublier le nombre stœchiométrique 2 devant le benzaldéhyde : on trouverait 31,2 g, le double de la masse de réactif introduite, ce qui est impossible.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme toutes les données. La benzoïne est le seul produit : la masse maximale est égale à la masse de benzaldéhyde, $\rho V = 15{,}6$ g (conservation de la masse).

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Définir, puis calculer le rendement de la synthèse réalisée au laboratoire.

Données utiles $m_{\text{obtenue}} = 7{,}81$ g ; $m_{\text{théorique}} = 15{,}6$ g (Q2.2.1)

Le rendement est le quotient de la quantité de produit réellement obtenue par la quantité maximale que l'on obtiendrait si la transformation était totale et sans perte :

$$\eta = \frac{n_{\text{obtenue}}}{n_{\text{max}}} = \frac{m_{\text{obtenue}}}{m_{\text{théorique}}}$$

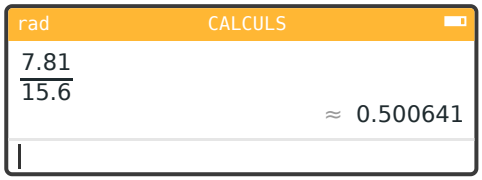
(les deux quantités concernent la même espèce, la masse molaire se simplifie).

$$\eta = \frac{7{,}81}{15{,}6} = 0{,}501$$

$\eta = 0{,}501$, soit $50{,}1\ \%$.

COMPRENDRE
Un rendement de 50 % ne signifie pas forcément que la transformation est limitée : chaque filtration, le lavage et la recristallisation font perdre du produit.

À LA CALCULATRICE



3 Quel est l'effet produit sur les molécules du milieu réactionnel par les ondes électromagnétiques émises dans le four à micro-ondes ? Un calcul est attendu.

Données utiles $f = 2{,}45$ GHz $= 2{,}45 \times 10^{9}$ Hz ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J

Énergie d'un photon associé à l'onde de fréquence f :

$$E = h\,f = 6{,}63 \times 10^{-34} \times 2{,}45 \times 10^{9} = 1{,}62 \times 10^{-24}\ \text{J}$$

Conversion en électronvolts :

$$E = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 2{,}45 \times 10^{9}}{1{,}602 \times 10^{-19}} = 1{,}01 \times 10^{-5}\ \text{eV}$$

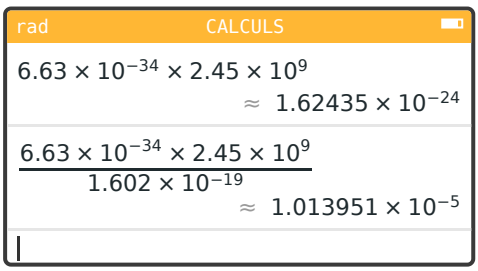
Cette énergie est comprise entre 1×10^{-6} eV et $0{,}003$ eV : d'après le tableau, le photon absorbé provoque une transition entre niveaux d'énergie rotationnelle.

$E = 1{,}01 \times 10^{-5}$ eV : les molécules du milieu réactionnel se mettent à tourner sur elles-mêmes.

PIÈGE
Laisser la fréquence en gigahertz ($1\ \text{GHz} = 10^{9}$ Hz), ou comparer au tableau une énergie restée en joules : le tableau est en électronvolts.

COMPRENDRE
L'agitation des molécules mises en rotation se traduit par une élévation de température : le milieu réactionnel est chauffé directement, sans passer par les parois du récipient.

À LA CALCULATRICE



4 En quoi l'évolution du protocole de cette synthèse va-t-elle dans le sens de la chimie verte ? Donner un argument environnemental et un argument énergétique.

Données utiles $E = P\,\Delta t$; 1839 : 250 W, 30 min, 7,8 g ; 1950 : 100 W, 90 min, 7,4 g ; 1980 : 600 W, 7 min, 9,0 g

Argument environnemental. À partir de 1950, l'ion cyanure, toxique et dangereux pour l'environnement, est remplacé par la thiamine (vitamine B1), qui ne porte aucun pictogramme de danger : la synthèse est moins risquée pour le manipulateur et ses déchets sont moins polluants.

Argument énergétique. Énergie consommée par le chauffage, $E = P\,\Delta t$ avec Δt en secondes :

- 1839 : $E = 250 \times 30 \times 60 = 4{,}5 \times 10^5$ J
- 1950 : $E = 100 \times 90 \times 60 = 5{,}4 \times 10^5$ J
- 1980 : $E = 600 \times 7 \times 60 = 2{,}5 \times 10^5$ J

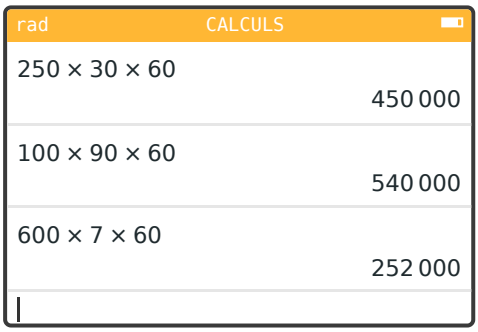
Le four à micro-ondes consomme environ deux fois moins d'énergie que les chauffages à reflux, en 7 min seulement, et la masse de benzoïne obtenue est la plus grande (9,0 g contre 7,8 g et 7,4 g).

Catalyseur non toxique (thiamine) et chauffage deux fois moins coûteux en énergie ($2{,}5 \times 10^5$ J) pour un meilleur rendement : le protocole de 1980 est le plus conforme à la chimie verte.

PIÈGE
Conclure d'après la puissance seule : 600 W est la puissance la plus élevée, mais la durée est si courte que l'énergie dépensée est la plus faible. Penser à convertir les minutes en secondes.

COMPRENDRE
Le passage de 1839 à 1950 est un progrès environnemental, mais pas énergétique ($5{,}4 \times 10^5$ J contre $4{,}5 \times 10^5$ J). C'est le four à micro-ondes qui apporte le gain d'énergie.

À LA CALCULATRICE



Valorisation du dioxyde de carbone

Bac S 2017 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Nommer la méthode de détermination de la teneur en chlorure de sodium de l'eau de mer mise en jeu.

On verse progressivement une solution de concentration connue (ions Ag^+) qui réagit avec l'espèce à doser (ions Cl^-), et la fin de la réaction est repérée par un changement de couleur.

Il s'agit d'un **titrage colorimétrique** (dosage par titrage, avec les ions chromate comme indicateur de fin de réaction).

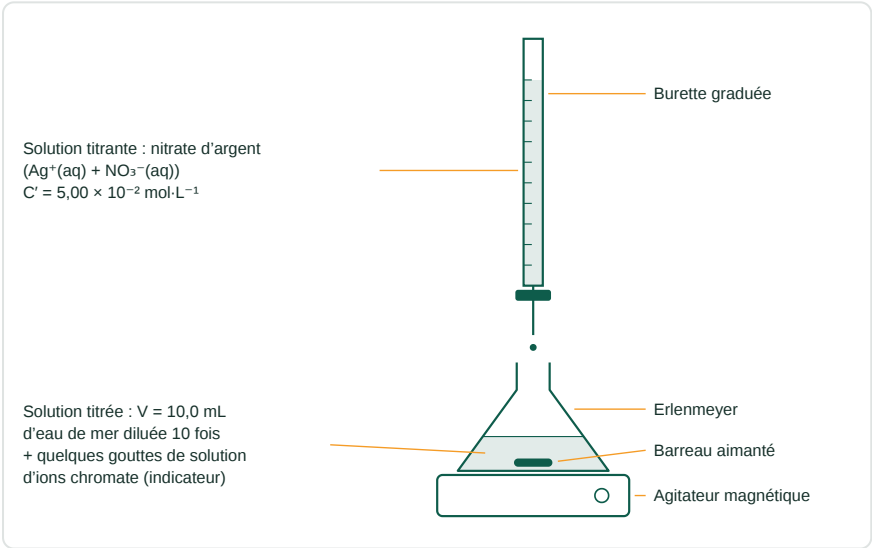
COMPRENDRE
Ce titrage repose sur une réaction de précipitation. Dans le programme actuel de spécialité, on titre surtout par des réactions acide-base ou d'oxydoréduction, mais le principe et l'exploitation de l'équivalence sont identiques.

1.2 Schématiser et légender le dispositif utilisé.

Le schéma comporte la burette graduée contenant la solution titrante, l'erlenmeyer contenant la solution titrée et l'indicateur, le barreau aimanté et l'agitateur magnétique.

Voir le schéma légendé ci-dessous.

PIÈGE
Inverser les deux solutions. La solution de concentration connue (nitrate d'argent) est dans la burette ; la prise d'essai d'eau de mer diluée est dans l'erlenmeyer.



1.2 · Dispositif de titrage de l'eau de mer diluée par le nitrate d'argent

1.3 Justifier que le volume de 11,5 mL peut être assimilé au volume versé à l'équivalence du titrage.

L'équivalence est atteinte quand les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : les ions Cl^- initialement présents sont alors entièrement consommés.

Avant l'équivalence, les ions Ag^+ versés réagissent en priorité avec les ions Cl^-. Dès qu'il n'y a pratiquement plus d'ions chlorure, les ions Ag^+ ajoutés réagissent avec les ions chromate, ce qui fait apparaître la couleur rouge.

L'apparition de la couleur rouge marque la disparition des ions Cl^- : le volume versé à cet instant, 11,5 mL, est le volume équivalent V_E.

COMPRENDRE
Les ions chromate jouent le rôle d'indicateur de fin de réaction : ils ne réagissent qu'une fois le réactif titré épuisé. Quelques gouttes suffisent, pour ne pas consommer une quantité notable d'ions argent.

1.4 Déterminer la concentration massique en chlorure de sodium de l'eau de mer à l'entrée du marais salant.

Données utiles $C' = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 11{,}5$ mL ; $V = 10{,}0$ mL ; dilution au dixième ; $M(\text{NaCl}) = 58{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

À l'équivalence, d'après l'équation $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$: $n_0(\text{Cl}^-) = n_E(\text{Ag}^+)$, soit $C \times V = C' \times V_E$.

Concentration en ions chlorure de la solution diluée :

$$C = \frac{C' \times V_E}{V} = \frac{5{,}00 \times 10^{-2} \times 11{,}5}{10{,}0} = 5{,}75 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Une mole de NaCl dissous libère une mole d'ions Cl^- : la concentration en chlorure de sodium de la solution diluée est aussi C.

L'eau de mer est dix fois plus concentrée que la solution titrée. Sa concentration massique est donc :

$$C_m = 10 \times C \times M(\text{NaCl}) = 10 \times 5{,}75 \times 10^{-2} \times 58{,}5$$

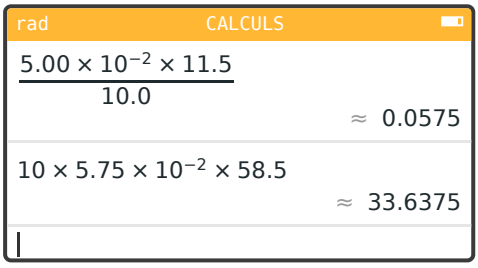
$$\boxed{C_m = 33{,}6\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Oublier la dilution. Le titrage donne la concentration de la solution diluée dix fois, soit $3{,}36\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; la question porte sur l'eau de mer elle-même.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C', V_E, V et $M(\text{NaCl})$. Les volumes peuvent rester en mL dans le quotient V_E/V puisque les unités se simplifient.

MÉTHODE
Pour un titrage : 1) relation à l'équivalence tirée de l'équation ; 2) concentration molaire de la prise d'essai ; 3) facteur de dilution ; 4) passage à la concentration massique par $C_m = C \times M$.

À LA CALCULATRICE



1.5 Déterminer la masse de chlorure de sodium solide à ajouter à chaque litre d'eau de mer introduit lors du premier remplissage, pour assurer une croissance optimale des microalgues.

Données utiles concentration massique optimale : $106\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $C_m = 33{,}6\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (1.4)

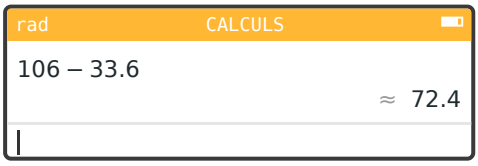
Un litre d'eau de mer contient déjà $33{,}6$ g de chlorure de sodium et doit en contenir 106 g. En supposant que la dissolution du solide ne modifie pas le volume :

$$m = (106 - 33{,}6) \times 1{,}00 = 72{,}4\ \text{g}$$

Il faut ajouter environ 72 g de NaCl solide par litre d'eau de mer.

COMPRENDRE
Pour une différence, on garde la précision du terme le moins précis : 106 est donné à l'unité près, d'où un résultat arrondi au gramme.

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer l'énergie totale apportée par la lumière sur les marais salants et pouvant servir à la croissance des microalgues en une journée.

Données utiles énergie solaire reçue par jour : $1{,}5 \times 10^7\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$; part utilisable : 5 % ; surface : 6000 ha ; $1\ \text{ha} = 1{,}00 \times 10^4\ \text{m}^2$

Surface du site : $S = 6000 \times 1{,}00 \times 10^4 = 6{,}000 \times 10^7\ \text{m}^2$.

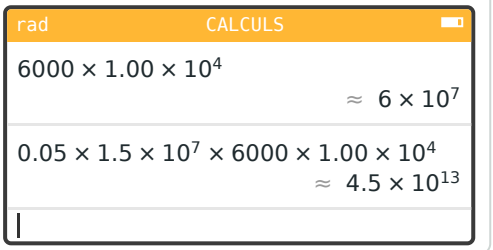
Énergie utile en une journée, avec E_s l'énergie solaire reçue par mètre carré :

$$E = \frac{5}{100} \times E_s \times S = 0{,}05 \times 1{,}5 \times 10^7 \times 6{,}000 \times 10^7$$

$$\boxed{E = 4{,}5 \times 10^{13}\ \text{J}}$$

PIÈGE
Laisser la surface en hectares alors que l'énergie reçue est donnée par mètre carré, ou oublier le facteur 5 % : seule une petite part de l'énergie solaire sert à la croissance.

À LA CALCULATRICE



2.2 En déduire la masse de CO_2 pouvant être absorbée en une journée par la culture des microalgues sur le marais salant.

Données utiles $E = 4{,}5 \times 10^{13}$ J (2.1) ; énergie nécessaire : 1736 kJ par mole de CO_2 ; $M(CO_2) = 44{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La transformation d'une mole de CO_2 demande $E_m = 1736\ \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 1{,}736 \times 10^6\ \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$. Quantité de CO_2 transformée en un jour :

$$n(CO_2) = \frac{E}{E_m} = \frac{4{,}5 \times 10^{13}}{1{,}736 \times 10^6} = 2{,}6 \times 10^7\ \text{mol}$$

Masse correspondante :

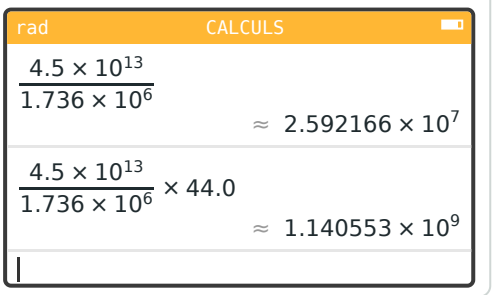
$$m(CO_2) = n(CO_2) \times M(CO_2) = \frac{4{,}5 \times 10^{13}}{1{,}736 \times 10^6} \times 44{,}0 = 1{,}1 \times 10^9\ \text{g}$$

$$\boxed{m(CO_2) = 1{,}1 \times 10^9\ \text{g}, \text{ soit environ } 1{,}1 \times 10^3 \text{ tonnes par jour.}}$$

PIÈGE
Diviser des joules par des kilojoules : il faut convertir 1736 kJ en joules avant le calcul, sinon le résultat est faux d'un facteur mille.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, car E n'en a que deux. On garde la valeur non arrondie de $n(CO_2)$ en mémoire pour la suite du calcul.

À LA CALCULATRICE



2.3 La part des 8 millions de tonnes de CO_2 émises par l'aciérie en un an et absorbable par cette technique permet-elle d'atteindre l'objectif de la COP 21 ? Sinon, proposer une solution pour augmenter cette part.

Données utiles $m(CO_2) = 1{,}14 \times 10^9$ g par jour (2.2, valeur non arrondie) ; émission annuelle : 8×10^6 t ; objectif : réduction de 24 %

Masse absorbée en un an (365 jours), avec $1\text{ t} = 10^6\text{ g}$:

$$m_{an} = 365 \times 1{,}14 \times 10^9 = 4{,}2 \times 10^{11}\text{ g} = 4{,}2 \times 10^5\text{ t}$$

Part de l'émission annuelle de l'usine :

$$p = \frac{m_{an}}{m_{\text{émise}}} = \frac{4{,}2 \times 10^5}{8 \times 10^6} = 0{,}052 \text{ soit environ } 5\ \%$$

Cette part est très inférieure aux 24 % visés : l'objectif n'est pas atteint.

Solution : la masse absorbée est proportionnelle à l'énergie lumineuse captée, donc à la surface cultivée. Il faudrait une surface $\frac{24}{5{,}2} \approx 4{,}6$ fois plus grande, soit environ $2{,}8 \times 10^4$ ha, ou compléter par d'autres procédés de captage et de stockage.

Environ 5 % du CO_2 émis est absorbé, loin des 24 % : objectif non atteint ; il faudrait cultiver une surface près de 5 fois plus grande.

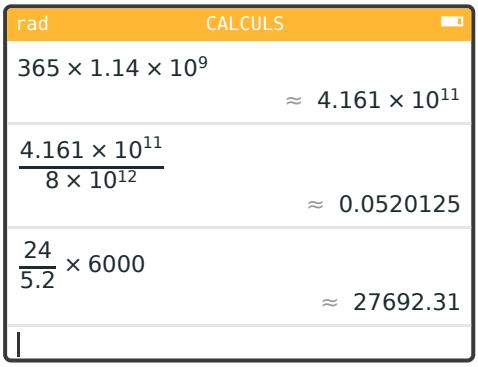
PIÈGE

Comparer une masse journalière à une émission annuelle, ou mélanger grammes et tonnes. Tout ramener à la même durée (un an) et à la même unité avant de calculer le pourcentage.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer la grandeur à comparer (ici un pourcentage), la calculer, la confronter à l'objectif, conclure par une phrase, puis proposer une piste chiffrée quand c'est possible.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Un élevage de corail

Bac S 2017 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Schématiser et légender le montage utilisé par le technicien du laboratoire, en précisant les solutions. Indiquer, en justifiant, le changement de couleur observé à l'équivalence.

Le montage est celui d'un titrage colorimétrique (schéma ci-dessous) : la solution d'E.D.T.A. est dans la burette, l'eau du bassin dans l'erlenmeyer avec la solution tampon et l'indicateur.

Avant l'équivalence, il reste des ions Ca^{2+} dans l'erlenmeyer : le noir ériochrome T colore le mélange en rose.

À l'équivalence, tous les ions Ca^{2+} ont réagi avec les ions Y^{4-} versés : en l'absence d'ions calcium, l'indicateur est bleu.

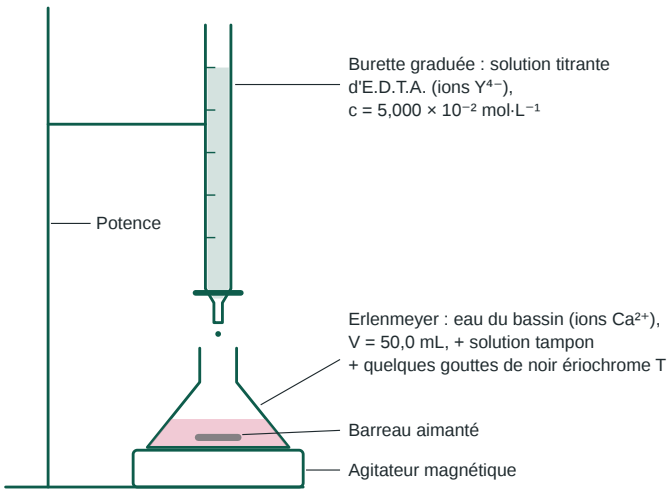
À l'équivalence, la solution passe du **rose au bleu**.

PIÈGE

Inverser les deux solutions. La solution titrante, de concentration connue, va dans la burette ; l'échantillon prélevé avec précision va dans l'erlenmeyer.

COMPRENDRE

Les trois ions de la réaction sont incolores : sans indicateur, rien ne signalerait l'équivalence. Le titrage par l'E.D.T.A. (complexation) relevait de l'ancienne spécialité ; il n'est plus au programme actuel, le titrage colorimétrique si.



1 · Montage du titrage colorimétrique des ions calcium

2 En comparant la notice du test et le protocole du laboratoire, identifier les « réactif 1 », « réactif 2 » et « réactif 3 ». Puis **Problème** : rédiger le rapport du technicien (conformité de l'eau du bassin, préconisations pour une croissance optimale des coraux), démarche et calculs à l'appui.

Données utiles $V_{eau} = (50{,}0 \pm 0{,}1)$ mL ; $c = (5{,}000 \pm 0{,}005) \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = (9{,}1 \pm 0{,}2)$ mL ; $M(\text{Ca}) = 40{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; bassin de 2000 L ; solution commerciale : densité 1,07, 30,0 % de calcium en masse ; au plus 10 mg par litre et par jour.

Au laboratoire, on ajoute à l'eau une solution tampon, l'indicateur, puis l'E.D.T.A. La notice suit le même ordre :

- **réactif 1** (quelques gouttes, aucune couleur) : la solution tampon ;
- **réactif 2** (poudre, coloration rose) : le noir ériochrome T, rose en présence des ions Ca^{2+} ;
- **réactif 3** (goutte à goutte jusqu'au bleu) : la solution titrante d'E.D.T.A.

Problème. Rapport au responsable de l'élevage.

Conformité. La teneur en calcium de l'eau du bassin est $t_{eau} = (364 \pm 8)\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, soit entre 356 et 372 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. La valeur mesurée est inférieure au minimum de 370 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ et l'intervalle est presque entièrement sous ce seuil : la conformité n'est pas assurée. Dans tous les cas, la teneur est loin de l'optimum de 420 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Préconisations. Verser 58 mL de solution commerciale de chlorure de calcium chaque jour pendant 6 jours (349 mL au total, jamais plus de 62 mL par jour), en répartissant l'ajout dans le bassin, puis contrôler la teneur par un nouveau dosage.

Démarche et calculs.

Teneur de l'eau. À l'équivalence, les réactifs sont en proportions stœchiométriques : $n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{Y}^{4-})$, soit $c_{eau}\,V_{eau} = c\,V_E$.

$$c_{eau} = \frac{c\,V_E}{V_{eau}} = \frac{5{,}000 \times 10^{-2} \times 9{,}1}{50{,}0} = 9{,}1 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$t_{eau} = c_{eau}\,M(\text{Ca}) = 9{,}1 \times 10^{-3} \times 40{,}0 = 0{,}364\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1} = 364\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

Incertitude. $\dfrac{U(c_{eau})}{c_{eau}} = \sqrt{\left(\dfrac{0{,}1}{50{,}0}\right)^2 + \left(\dfrac{0{,}2}{9{,}1}\right)^2 + \left(\dfrac{0{,}005}{5{,}000}\right)^2} = 0{,}022$

La masse molaire n'ajoute pas d'incertitude : $U(t_{eau}) = 0{,}022 \times 364 = 8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le test du commerce donne $18 \times 20 = 360\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur compatible avec cet intervalle.

Masse de calcium à apporter. $m = (420 - 364) \times 2000 = 1{,}12 \times 10^5\ \text{mg} = 112\ \text{g}$

Solution commerciale. Un litre a une masse de $1{,}07 \times 1000 = 1{,}07 \times 10^3$ g et contient $0{,}300 \times 1{,}07 \times 10^3 = 321$ g de calcium : $t_{com} = 321\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Volume total : $V = \dfrac{m}{t_{com}} = \dfrac{112}{321} = 0{,}349\ \text{L} = 349\ \text{mL}$

Limite quotidienne. Au plus $10 \times 2000 = 2{,}0 \times 10^4\ \text{mg} = 20$ g de calcium par jour, soit $\dfrac{20}{321} = 0{,}062\ \text{L} = 62$ mL de solution.

Il faut remonter de 56 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ à raison de 10 par jour au plus : 6 jours au minimum, d'où $\dfrac{349}{6} = 58$ mL par jour.

PIÈGE
Verser les 349 mL en une fois : la teneur monterait de 56 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en un jour. Arrondir 62,3 mL à 63 mL ferait aussi dépasser la limite : un maximum s'arrondit par défaut.

COMPRENDRE
Une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif et le résultat s'arrête au même rang : (364 ± 8). Sans elle, V_E à deux chiffres donnerait seulement $3{,}6 \times 10^2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, trop grossier pour se comparer à 370.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer d'abord la conclusion demandée (ici le rapport), puis enchaîner des étapes titrées, chacune avec relation littérale, application numérique et unité. Un calcul inachevé mais clair rapporte des points.

$t_{eau} = (364 \pm 8)\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$: conformité non assurée ; ajouter 349 mL de solution commerciale en 6 jours, soit 58 mL par jour.

À LA CALCULATRICE

