# Corrigé complet — Bac S 2017 Métropole (ancien programme)

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


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ex 1 | **Synthèse de la carvone à partir du limonène**<br>Formule semi-développée · Spectroscopie infrarouge · Carbone asymétrique et chiralité · Catégories de réactions · Extraction liquide-liquide · Rendement d'une synthèse | 4 pts | 40 min | 7 questions | p. 2 |
| Ex 2 | **Son et lumière**<br>Spectres d'émission · Énergie d'un photon · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Conservation de l'énergie mécanique · Niveau d'intensité sonore | 11 pts | 1 h 50 | 11 questions | p. 6 |
| Ex 3 | **Eliminer le tartre**<br>Concentration et titre massique · Couples acide-base · Titrage conductimétrique · Dilution · Réactif limitant · Résolution de problème | 5 pts | 50 min | 7 questions | p. 10 |
| Ex 4 | **Spécialité : Traitement de l'eau d'un bassin d'ornement**<br>Concentration en masse et concentration molaire · Dilution et gamme étalon · Loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage spectrophotométrique · Résolution de problème | 5 pts | 50 min | 3 questions | p. 13 |


**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.

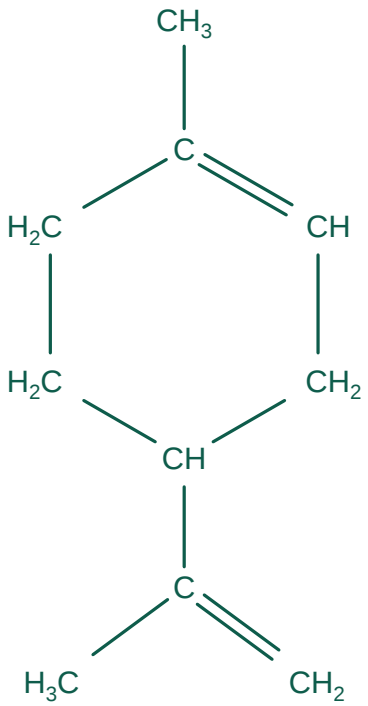
# Synthèse de la carvone à partir du limonène

Bac S 2017 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 40 min**

**1.1** Représenter la formule semi-développée du R-limonène.

Dans la formule topologique, chaque sommet et chaque extrémité de segment est un atome de carbone, complété par des atomes d'hydrogène jusqu'à quatre liaisons. On obtient la formule ci-dessous.

Formule semi-développée du R-limonène (formule brute $C_{10}H_{16}$) : voir la figure.

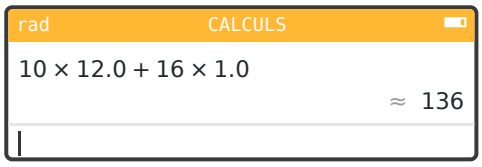



**1.1** · Formule semi-développée du R-limonène

**COMPRENDRE**
Vérification : $C_{10}H_{16}$ donne $M = 10 \times 12{,}0 + 16 \times 1{,}0 = 136{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, la valeur du tableau de données.

**MÉTHODE**
Compter les liaisons de chaque carbone : un sommet à trois liaisons tracées porte un H, un sommet à deux liaisons tracées porte deux H. Les deux carbones porteurs d'une double liaison et de deux autres liaisons n'ont aucun H.

**À LA CALCULATRICE**




**1.2** Montrer que le spectre infrarouge de l'huile essentielle est compatible avec la structure du R-limonène.

**Données utiles** $O-H$ : 3200 – 3400 $\text{cm}^{-1}$ ; $C-H$ : 2900 – 3200 $\text{cm}^{-1}$ ; $C=O$ : 1660 – 1725 $\text{cm}^{-1}$ ; $C=C$ : 1640 – 1660 $\text{cm}^{-1}$

Le R-limonène ne contient que des liaisons $C-H$, $C-C$ et $C=C$.

Sur le spectre, on repère :

- une bande intense vers 2900 – 3000 $\text{cm}^{-1}$, attribuée aux liaisons $C-H$ ;
- une bande fine vers 1650 $\text{cm}^{-1}$, attribuée aux liaisons $C=C$.

On ne voit aucune bande large entre 3200 et 3400 $\text{cm}^{-1}$ : la molécule n'a pas de liaison $O-H$, ce qui est bien le cas du limonène.

Les bandes présentes ($C-H$ et $C=C$) et la bande absente ($O-H$) correspondent à la structure du R-limonène : le spectre est compatible.

**PIÈGE**
Lire l'axe des abscisses à l'envers : le nombre d'onde décroît de gauche à droite, et l'échelle change à 2400 $\text{cm}^{-1}$ (coupure de l'axe).

**MÉTHODE**
Lister d'abord les liaisons de la molécule, puis chercher chaque bande attendue. Une bande absente est aussi un argument. La zone située sous 1500 $\text{cm}^{-1}$ (empreinte digitale) ne s'interprète pas.

**2.1** La R-carvone est une molécule chirale. Justifier.

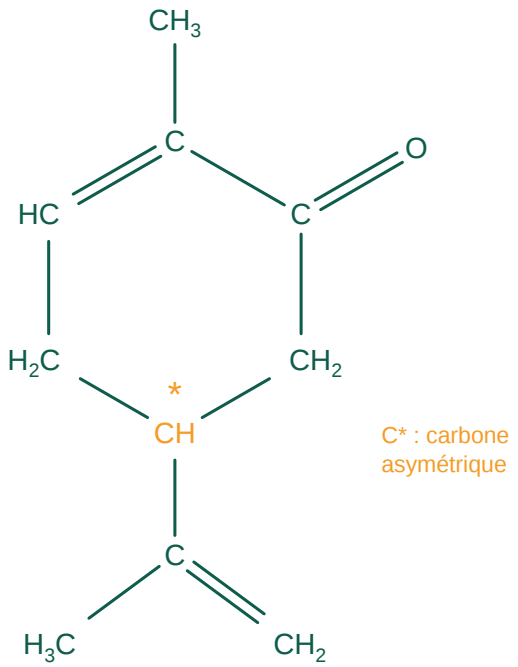
Un atome de carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

Dans la R-carvone, le carbone du cycle qui porte le groupe $-C(CH_3)=CH_2$ est lié à : un atome H, ce groupe, et deux branches du cycle qui diffèrent (l'une mène au groupe $C=O$, l'autre à la double liaison $C=C$). Il est donc asymétrique, et c'est le seul de la molécule.

La R-carvone possède un unique atome de carbone asymétrique : elle est chirale (non superposable à son image dans un miroir plan).

**PIÈGE**
Marquer un carbone engagé dans une double liaison ($C=C$ ou $C=O$) : il n'a que trois voisins, il ne peut pas être asymétrique. Même chose pour un $CH_2$ ou un $CH_3$.

**COMPRENDRE**
Chiralité, carbone asymétrique et énantiomères figuraient au programme de Terminale S. Ces notions ne sont plus au programme actuel de la spécialité.




**2.1** · R-carvone : l'atome de carbone asymétrique est repéré par un astérisque

**2.2** Indiquer la catégorie de la réaction mise en jeu lors de la première étape de la synthèse. Justifier.

Dans la première étape, deux réactifs (le R-limonène et $NOCl$) donnent un seul produit. La double liaison $C=C$ du cycle devient une liaison simple, et chacun de ses deux carbones fixe un nouveau groupe ($-Cl$ pour l'un, $-NO$ pour l'autre).

La première étape est une réaction d'addition.

**MÉTHODE**
Addition : des atomes se fixent sur une liaison multiple, un seul produit. Élimination : départ de deux groupes voisins, une liaison multiple se forme. Substitution : un atome ou groupe en remplace un autre, deux produits.

**2.3** Identifier la phase (phase 1 ou phase 2) de l'ampoule à décanter où se situe la R-carvone. Justifier.

**Données utiles** $\rho_{\text{carvone}} = 0{,}96\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

Les deux phases ne sont pas miscibles : la moins dense surnage.

La phase organique est constituée principalement de R-carvone, de masse volumique $0{,}96\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, inférieure à celle de la phase aqueuse, proche de $1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. La phase organique est donc au-dessus.

La R-carvone se trouve dans la phase supérieure, c'est-à-dire la phase 1 ; la phase 2 est la phase aqueuse.

**PIÈGE**
Répondre « la phase organique est toujours au-dessus ». C'est faux pour un solvant plus dense que l'eau (dichlorométhane par exemple) : seule la comparaison des masses volumiques justifie la réponse.

**3.1** Vérifier que la quantité de matière de R-limonène nécessaire à la synthèse de 13 g de R-carvone est égale à 0,29 mol.

**Données utiles** $m_{\text{carvone}} = 13\ \text{g}$ ; $M_{\text{carvone}} = 150{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; rendement $\eta = 30\ \% = 0{,}30$

Le schéma de synthèse montre qu'une molécule de R-limonène conduit à une molécule de R-carvone. Si la transformation était totale, on aurait $n_{\text{max}}(\text{carvone}) = n(\text{limonène})$.

Le rendement compare la quantité obtenue à la quantité maximale :

$$\eta = \frac{n_{\text{obtenue}}(\text{carvone})}{n(\text{limonène})} \quad \text{avec} \quad n_{\text{obtenue}}(\text{carvone}) = \frac{m_{\text{carvone}}}{M_{\text{carvone}}}$$

D'où : $$n(\text{limonène}) = \frac{m_{\text{carvone}}}{\eta \times M_{\text{carvone}}}$$

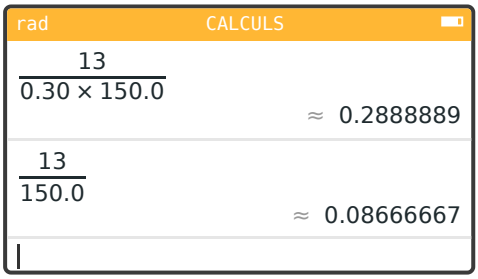
$$n(\text{limonène}) = \frac{13}{0{,}30 \times 150{,}0} = 0{,}29\ \text{mol}$$

$n(\text{limonène}) = 0{,}29\ \text{mol}$ : c'est bien la valeur annoncée.

**PIÈGE**
Multiplier par le rendement au lieu de diviser. Avec un rendement de 30 %, il faut plus de réactif que de produit obtenu : $0{,}29\ \text{mol}$ de limonène pour seulement $0{,}087\ \text{mol}$ de carvone.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme la masse 13 g et le rendement 30 %, qui sont les données les moins précises.

**À LA CALCULATRICE**



**3.2** Estimer le nombre d'oranges nécessaire pour synthétiser 13 g de R-carvone à partir du R-limonène extrait des peaux d'orange.

**Données utiles** $n(\text{limonène}) = 0{,}29$ mol (3.1) ; $M_{\text{limonène}} = 136{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; $\rho_{\text{limonène}} = 0{,}84\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; 6 oranges donnent 3,0 mL d'huile essentielle

**Volume de R-limonène nécessaire.** La masse est $m = n \times M_{\text{limonène}}$ et le volume $V = \dfrac{m}{\rho_{\text{limonène}}}$, donc :

$$V = \frac{n \times M_{\text{limonène}}}{\rho_{\text{limonène}}} = \frac{0{,}29 \times 136{,}0}{0{,}84} = 47\ \text{mL}$$

**Nombre d'oranges.** L'huile essentielle est supposée être du R-limonène pur. Six oranges en fournissent 3,0 mL, soit $\dfrac{3{,}0}{6} = 0{,}50$ mL par orange.

$$N = \frac{47}{0{,}50} = 94$$

Il faut environ 94 oranges, soit de l'ordre d'une centaine, pour synthétiser 13 g de R-carvone.

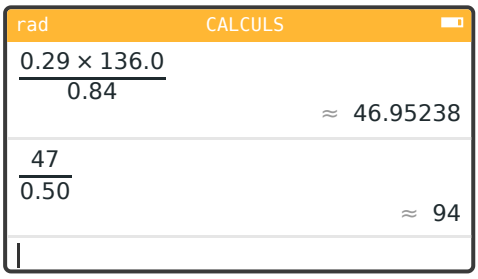
**PIÈGE**

Confondre masse et volume : les oranges fournissent des millilitres d'huile, il faut donc passer par la masse volumique. Diviser 39 g par 0,50 mL par orange n'a pas de sens.

**MÉTHODE**

Question ouverte : annoncer les étapes (quantité, masse, volume, nombre d'oranges), écrire une relation littérale par étape, puis conclure par une phrase. La démarche est notée même si le calcul n'aboutit pas.

**À LA CALCULATRICE**



# Son et lumière

Bac S 2017 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

**1.1** Citer les deux processus d'émission de lumière évoqués par le texte et préciser, pour chacun, si le spectre est un spectre de raies ou un spectre continu.

- **Incandescence** des particules d'oxyde métallique (corps chaud) : la lumière émise a un spectre **continu**.
- **Émission atomique** (désexcitation des atomes) : la lumière émise a un spectre **de raies**.

Incandescence : spectre continu ; émission atomique : spectre de raies.

**COMPRENDRE**
Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés : seuls certains photons, donc certaines longueurs d'onde, peuvent être émis. Un corps chaud émet au contraire toutes les radiations d'un intervalle, qui s'étend vers le bleu quand la température augmente.

**1.2** Déterminer la couleur perçue lors de l'émission du photon 3.

**Données utiles** $E_3 = 1{,}825$ eV ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s$^{-1}$ ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; rouge : de 625 à 780 nm

L'énergie d'un photon de longueur d'onde $\lambda$ dans le vide est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda_3 = \dfrac{h\,c}{E_3}$, avec $E_3$ en joules.

$$\lambda_3 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}825 \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 6{,}81 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

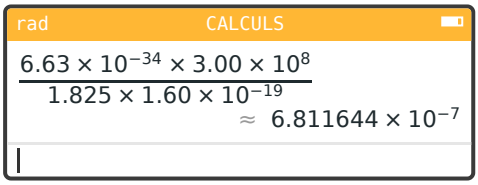
Cette longueur d'onde est comprise entre 625 nm et 780 nm.

$\lambda_3 = 681$ nm : le photon 3 correspond à une lumière **rouge**.

**PIÈGE**
Laisser l'énergie en électronvolts. La relation $E = h\,c/\lambda$ exige des joules : on multiplie $1{,}825$ par $1{,}60 \times 10^{-19}$.

**COMPRENDRE**
Trois chiffres significatifs, comme $h$, $c$ et la valeur de l'électronvolt, données les moins précises. La célérité de la lumière dans le vide n'est pas fournie : sa valeur est à connaître.

**À LA CALCULATRICE**




**1.3** Sans calcul supplémentaire, montrer que l'émission des trois photons explique la couleur de la lumière émise par le « crackling R100 ».

**Données utiles** $E_1 = 1{,}753$ eV ; $E_2 = 1{,}802$ eV ; $E_3 = 1{,}825$ eV ; $\lambda_3 = 681$ nm (1.2)

Comme $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, la longueur d'onde est inversement proportionnelle à l'énergie du photon.

Les photons 1 et 2 ont des énergies un peu plus faibles que celle du photon 3 : leurs longueurs d'onde sont donc un peu plus grandes que 681 nm.

Les trois énergies sont très proches (écart de quelques pour cent) : $\lambda_1$ et $\lambda_2$ restent voisines de 681 nm, donc inférieures à 780 nm, dans le domaine du rouge.

Les trois photons correspondent à des radiations rouges, en accord avec la couleur « rouge (intense) » annoncée par le constructeur.

**PIÈGE**
S'arrêter à « $\lambda$ augmente » ne suffit pas : il faut aussi justifier que l'on ne dépasse pas 780 nm, limite du visible, grâce à la proximité des trois énergies.

**2.1** Donner les expressions littérales des coordonnées du vecteur $\overrightarrow{V_0}$ en fonction de $V_0$ et $\alpha$.

L'angle $\alpha$ est mesuré entre l'axe horizontal $(Ox)$ et $\overrightarrow{V_0}$. Par projection sur les deux axes :

$$V_{0x} = V_0 \cos\alpha \quad \text{et} \quad V_{0y} = V_0 \sin\alpha$$

**MÉTHODE**
La coordonnée portée par l'axe qui borde l'angle reçoit le cosinus, l'autre le sinus. Vérification : pour $\alpha = 90^\circ$, le tir est vertical et $V_{0x}$ doit être nulle.

**2.2** Montrer que, si l'on néglige toute action de l'air, le vecteur accélération $\overrightarrow{a_M}$ est égal au vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ dès que le projectile est lancé.

Système : la pièce pyrotechnique, de masse $m$ constante, repérée par le point M. Référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces après le lancement : l'action de l'air étant négligée, seul le poids $\overrightarrow{P} = m\,\vec{g}$ s'exerce sur le système.

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

En simplifiant par $m$ :

$$\overrightarrow{a_M} = \vec{g}$$

**PIÈGE**
Oublier de nommer le système, le référentiel galiléen ou le bilan des forces : ces trois éléments sont notés, même si le calcul tient en une ligne.

**COMPRENDRE**
« Dès que le projectile est lancé » : pendant la phase de propulsion, une autre force agit. Le modèle de la chute libre ne vaut qu'après.

**2.3** Montrer que les équations horaires du mouvement de M sont $x_M(t) = 12{,}1\,t$ et $y_M(t) = -4{,}91\,t^2 + 68{,}4\,t$, en mètres, avec $t$ en secondes.

**Données utiles** $V_0 = 250\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ; $\alpha = 80^\circ$ ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; à $t = 0$, M est en O

Dans le repère $(Ox, Oy)$, $\vec{g}$ est vertical vers le bas : $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

Comme $\overrightarrow{a_M} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{V_M}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives ; les constantes sont les coordonnées de $\overrightarrow{V_0}$ :

$$V_x(t) = V_0\cos\alpha \qquad V_y(t) = -g\,t + V_0\sin\alpha$$

Comme $\overrightarrow{V_M} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$, on prend de nouveau les primitives ; à $t = 0$, M est en O, donc les constantes sont nulles :

$$x_M(t) = V_0\cos\alpha \times t \qquad y_M(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin\alpha \times t$$

Application numérique, avec $V_0 = \dfrac{250}{3{,}6} = 69{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ :

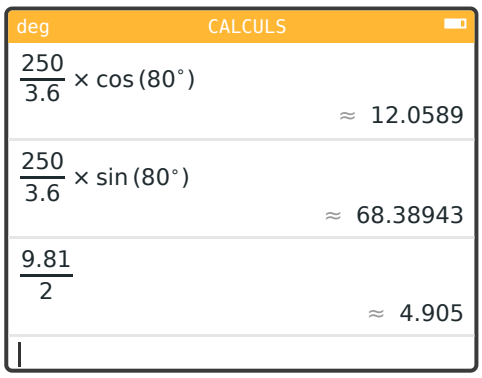
$V_0\cos\alpha = \dfrac{250}{3{,}6} \times \cos 80^\circ = 12{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $V_0\sin\alpha = \dfrac{250}{3{,}6} \times \sin 80^\circ = 68{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $\dfrac{g}{2} = \dfrac{9{,}81}{2} = 4{,}91\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$x_M(t) = 12{,}1\,t$ et $y_M(t) = -4{,}91\,t^2 + 68{,}4\,t$ : ce sont les équations annoncées.

**PIÈGE**
Garder $V_0$ en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ : il faut diviser par 3,6 pour obtenir des $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vérifier aussi que la calculatrice est en mode degrés.

**MÉTHODE**
Deux intégrations successives, de l'accélération à la vitesse puis à la position. À chaque étape, la constante se détermine avec la condition initiale, écrite explicitement sur la copie.

**À LA CALCULATRICE**




**2.4** Dans le cadre de ce modèle, déterminer à l'aide des équations horaires l'altitude théorique atteinte par le projectile à $t = 3{,}2$ s.

**Données utiles** $y_M(t) = -4{,}91\,t^2 + 68{,}4\,t$ (2.3)

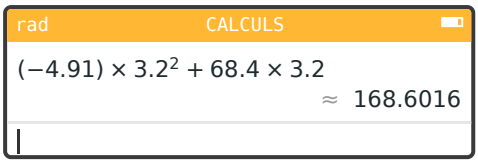
L'altitude est donnée par l'ordonnée $y_M$ à la date $t = 3{,}2$ s :

$$y_M(3{,}2) = -4{,}91 \times 3{,}2^2 + 68{,}4 \times 3{,}2 = 169\ \text{m}$$

$$y_M(3{,}2) \approx 1{,}7 \times 10^2\ \text{m}$$

**COMPRENDRE**
La durée 3,2 s n'a que deux chiffres significatifs : le résultat s'arrondit à $1{,}7 \times 10^2$ m. On garde 169 m pour la comparaison qui suit.

À LA CALCULATRICE




**2.5** Sachant que l'éclatement se produit lors de la montée, expliquer l'écart entre cette valeur et celle annoncée par le constructeur.

**Données utiles** altitude théorique : environ 169 m (2.4) ; hauteur à l'éclatement annoncée : 120 m

Le modèle prévoit une altitude d'environ 169 m alors que le constructeur annonce 120 m : la pièce monte nettement moins haut que prévu.

Le modèle néglige toute action de l'air. En réalité, pendant la montée, les frottements de l'air s'opposent au mouvement : ils freinent le projectile, qui parcourt une distance plus faible pendant la même durée.

L'écart (120 m au lieu de 169 m) montre que l'action de l'air n'est pas négligeable : le modèle de la chute libre surestime l'altitude.

**COMPRENDRE**
La précision « lors de la montée » écarte une autre explication : la pièce n'est pas déjà en train de redescendre à 3,2 s. Dans le modèle, le sommet n'est d'ailleurs atteint que vers 7 s.

**3.1** Dans l'hypothèse où l'énergie mécanique se conserve, montrer que la hauteur maximale atteinte est $h = \dfrac{v_i^2}{2g}$.

On choisit l'origine des altitudes et de l'énergie potentielle de pesanteur au point de tir T.

- En T : vitesse $v_i$, altitude nulle, donc $E_m(T) = \dfrac{1}{2} m v_i^2 + 0$.
- Au sommet S : le tir est vertical, la vitesse s'annule à l'altitude $h$, donc $E_m(S) = 0 + m g h$.

L'énergie mécanique se conserve : $E_m(T) = E_m(S)$, soit $\dfrac{1}{2} m v_i^2 = m g h$.

En simplifiant par $m$ puis en divisant par $g$ :

$$h = \frac{v_i^2}{2g}$$

**PIÈGE**
Ne pas justifier que la vitesse est nulle au sommet. C'est vrai parce que le tir est vertical ; pour un tir oblique, il resterait la composante horizontale de la vitesse.

**COMPRENDRE**
La masse se simplifie : dans ce modèle sans frottement, la hauteur maximale ne dépend que de la vitesse initiale et de $g$.

**3.2** Déterminer la valeur de la hauteur maximale atteinte $h$.

**Données utiles** $v_i = 200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ; $g = 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Conversion : $v_i = \dfrac{200}{3{,}6} = 55{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$h = \frac{v_i^2}{2g} = \frac{\left(\dfrac{200}{3{,}6}\right)^2}{2 \times 9{,}81} = 157 \text{ m}$$

$$h = 157 \text{ m}$$

**PIÈGE**
Calculer avec la valeur arrondie $55{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ donne 158 m. On garde la fraction $200/3{,}6$ dans la calculatrice jusqu'au résultat final.

**COMPRENDRE**
Cette hauteur est un maximum théorique, sans frottement. Elle dépasse largement les 70 m auxquels la pièce éclate réellement.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{\left(\frac{200}{3.6}\right)^2}{2 \times 9.81} \approx 157.3099$$

**3.3** Doit-on recommander à l'artificier le port d'un dispositif de protection auditive ? Justifier par un calcul.

**Données utiles** $L_1 = 120$ dB à $d_1 = 15$ m du point d'éclatement ; $H = 70$ m ; $\ell = 95$ m ; $L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$ ; de 100 à 110 dB : « difficilement supportable »

**Distance entre l'artificier et le point d'éclatement.** Le triangle TEA est rectangle en T (E à la verticale de T). D'après le théorème de Pythagore :

$$d_2 = EA = \sqrt{H^2 + \ell^2} = \sqrt{70^2 + 95^2} = 118 \text{ m}$$

**Niveau d'intensité sonore reçu par l'artificier.** On connaît $L_1 = 120$ dB à $d_1 = 15$ m de E. En l'absence d'atténuation :

$$L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right) = 120 + 20\log\left(\frac{15}{118}\right) = 102 \text{ dB}$$

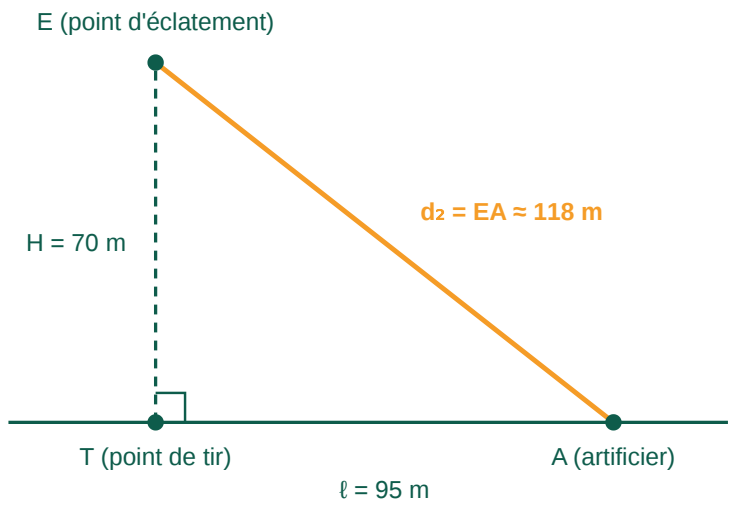
**Conclusion.** D'après l'échelle fournie, un niveau compris entre 100 dB et 110 dB est « difficilement supportable ».

$L_2 \approx 102$ dB : oui, il faut recommander à l'artificier le port d'une protection auditive.

**PIÈGE**
Prendre $d_2 = \ell = 95$ m. Le son part du point d'éclatement E, situé à 70 m d'altitude, et non du point de tir T : la distance utile est EA.

**COMPRENDRE**
Le niveau ne baisse que de 18 dB alors que la distance est multipliée par 8 environ : chaque doublement de la distance ne retire que 6 dB.

**MÉTHODE**
Question ouverte : 1) repérer la grandeur qui permet de trancher, ici $L_2$ ; 2) chercher ce qui manque pour la calculer, ici $d_2$ ; 3) calculer ; 4) comparer à l'échelle et conclure par une phrase.




**3.3** · Situation de l'artificier (échelle non respectée)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\sqrt{70^2 + 95^2} \approx 118.0042$$

$$120 + 20 \times \log\left(\frac{15}{\sqrt{70^2 + 95^2}}\right) \approx 102.0839$$

# Eliminer le tartre

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

**1.1** Montrer que la concentration molaire en acide chlorhydrique de la solution commerciale est de l'ordre de $2{,}6\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

**Données utiles** $9{,}0$ g de $\text{HCl}$ pour $100$ g de solution ; $\rho_d = 1{,}04\times10^{3}\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; $M(\text{HCl}) = 36{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

On raisonne sur $m_{sol} = 100$ g de solution, qui contiennent $m(\text{HCl}) = 9{,}0$ g.

Quantité de matière dissoute : $n(\text{HCl}) = \dfrac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}$. Volume de la solution : $V_{sol} = \dfrac{m_{sol}}{\rho_d}$.

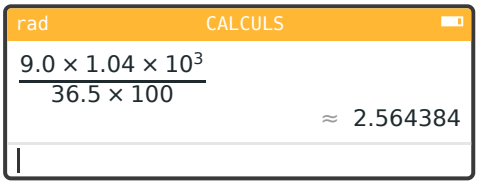
$$c_a = \frac{n(\text{HCl})}{V_{sol}} = \frac{m(\text{HCl})\times\rho_d}{M(\text{HCl})\times m_{sol}} = \frac{9{,}0\times1{,}04\times10^{3}}{36{,}5\times100}$$

$c_a = 2{,}6\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ : c'est bien la valeur annoncée.

**PIÈGE**
Diviser $9{,}0$ g par $100$ mL : les $100$ g sont une masse de solution, pas un volume. Il faut passer par la masse volumique ($100$ g occupent $96$ mL).

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($9{,}0$ g). La dissolution étant totale, $[\text{H}_3\text{O}^+] = c_a$.

**À LA CALCULATRICE**




**1.2** Identifier les couples mis en jeu dans la réaction acido-basique support du titrage.

L'ion $\text{H}_3\text{O}^+$ cède un ion $\text{H}^+$ : c'est l'acide du couple $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$.

L'ion $\text{HO}^-$ capte cet ion $\text{H}^+$ : c'est la base du couple $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$.

Couples : $\text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$ et $\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})/\text{HO}^-\,(\text{aq})$

**COMPRENDRE**
Un couple s'écrit toujours acide/base. L'eau figure dans les deux : base du premier, acide du second. C'est une espèce amphotère.

**1.3** Montrer que le volume de solution d'hydroxyde de sodium à verser pour atteindre l'équivalence est supérieur au volume de la burette de $25{,}0$ mL.

**Données utiles** $c_a = 2{,}6\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (1.1) ; $V_a = 10{,}0$ mL ; $c_b = 1{,}0\times10^{-1}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HO}^- \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}$ :

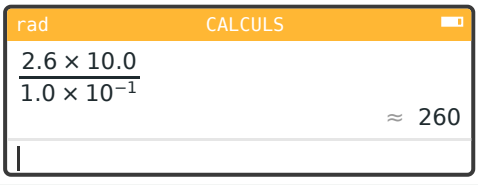
$n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{initial}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}}$, soit $c_a\,V_a = c_b\,V_E$.

$$V_E = \frac{c_a\,V_a}{c_b} = \frac{2{,}6\times10{,}0}{1{,}0\times10^{-1}}$$

$V_E = 2{,}6\times10^{2}\ \text{mL} > 25{,}0\ \text{mL}$ : une seule burette ne suffit pas.

**MÉTHODE**
Dans le rapport $c_aV_a/c_b$, les concentrations sont dans la même unité : $V_E$ sort dans l'unité de $V_a$. Inutile de convertir les millilitres en litres.

**À LA CALCULATRICE**



**1.4** Comment les élèves ont-ils résolu le problème soulevé à la question 1.3 ?

**Données utiles** $V_E = 2{,}6 \times 10^2$ mL sans dilution (1.3) ; dilution d'un facteur 20

Les élèves ont dilué 20 fois le détartrant avant de le titrer. La concentration de la solution titrée est divisée par 20 ; comme $V_E = \dfrac{c\,V}{c_b}$ avec le même volume prélevé et le même $c_b$, le volume équivalent est lui aussi divisé par 20 :

$$V_E \approx \frac{2{,}6 \times 10^2}{20} = 13 \text{ mL}$$

Grâce à la dilution au vingtième, $V_E \approx 13$ mL $< 25{,}0$ mL : une burette suffit.

**COMPRENDRE**
L'eau distillée ajoutée ensuite dans le bécher ne modifie pas $V_E$ : elle ne change pas la quantité d'ions $H_3O^+$ à titrer. Elle sert à immerger la cellule et à obtenir des portions de droites.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{2.6 \times 10^2}{20} \approx 13$

**1.5** Déterminer la concentration molaire en ions $H_3O^+$ dans la solution diluée S. Ce résultat est-il compatible avec l'indication de l'étiquette ?

**Données utiles** $V_S = 10{,}0$ mL ; $c_b = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L$^{-1}$ ; dilution d'un facteur 20 ; $c_a = 2{,}6$ mol · L$^{-1}$ (1.1)

On trace les deux portions de droite qui modélisent la courbe, avant et après la rupture de pente. Leur intersection donne l'équivalence : $V_E = 12{,}0$ mL.

À l'équivalence : $c_S\,V_S = c_b\,V_E$, donc

$$c_S = \frac{c_b\,V_E}{V_S} = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 12{,}0}{10{,}0} = 0{,}12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Pour le détartrant commercial, 20 fois plus concentré : $c_{exp} = 20\,c_S = 20 \times 0{,}12 = 2{,}4$ mol · L$^{-1}$.

Écart relatif avec la valeur tirée de l'étiquette : $\dfrac{|c_{exp} - c_a|}{c_a} = \dfrac{2{,}6 - 2{,}4}{2{,}6} \approx 8\ \%$.

$c_S = 0{,}12$ mol · L$^{-1}$, soit $2{,}4$ mol · L$^{-1}$ pour le détartrant : écart d'environ $8\ \%$, résultat compatible avec l'étiquette.

**PIÈGE**
S'arrêter à $c_S$ pour conclure. L'étiquette concerne le détartrant commercial : il faut multiplier par 20 avant de comparer à $2{,}6$ mol · L$^{-1}$.

**COMPRENDRE**
Avant l'équivalence, les ions $H_3O^+$, très conducteurs, sont remplacés par des ions $Na^+$ : $\sigma$ diminue. Après, les ions $HO^-$ et $Na^+$ s'accumulent : $\sigma$ augmente.

**MÉTHODE**
Pour juger une compatibilité sans incertitude fournie, calculer l'écart relatif. Ici l'étiquette (« 9 % ») est peu précise et $V_E$ est lu graphiquement : un écart inférieur à $10\ \%$ est acceptable.

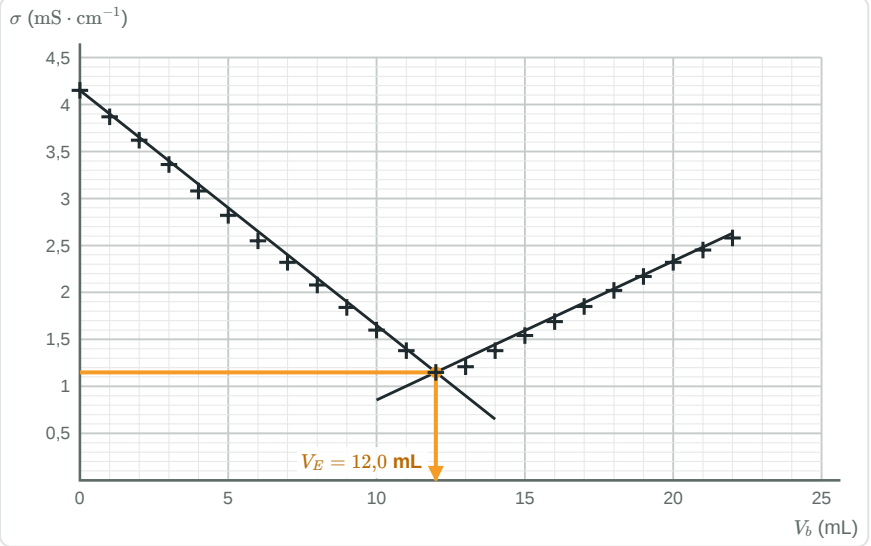
**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{1.0 \times 10^{-1} \times 12.0}{10.0} \approx 0.12$

$20 \times 0.12 \approx 2.4$

$\dfrac{2.6 - 2.4}{2.6} \approx 0.07692308$




**1.5** · Figure 1 du sujet, avec les deux droites et la lecture du volume équivalent

**2.1** Estimer le volume total de tartre déposé sur la surface extérieure du tambour du lave-linge.

**Données utiles** $R = h = 40$ cm ; épaisseur $e \approx 10\ \mu$m ; aire d'un cylindre fermé : $2\pi R^2 + 2\pi Rh$

Volume de la couche : $V_{tartre} = S \times e$, avec $S = 2\pi R^2 + 2\pi Rh$.

Comme $h = R = 0{,}40$ m : $S = 4\pi R^2 = 4\pi \times 0{,}40^2 = 2{,}0\ \text{m}^2$.

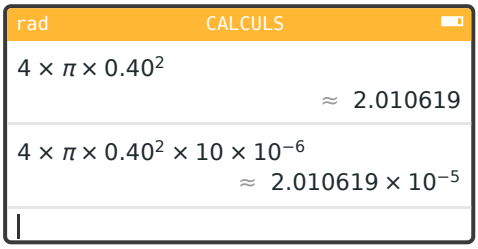
Avec $e = 10\ \mu\text{m} = 10 \times 10^{-6}$ m :

$$V_{tartre} = 4\pi R^2 \times e = 4\pi \times 0{,}40^2 \times 10 \times 10^{-6}$$

$V_{tartre} = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$ (soit $20\ \text{cm}^3$)

**PIÈGE**
Laisser $R$ en centimètres et $e$ en micromètres. La masse volumique du tartre est donnée en $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ : tout convertir en mètres prépare la question suivante.

**À LA CALCULATRICE**




**2.2** Le flacon de 750 mL de détartrant est-il suffisant pour détartrer totalement le tambour du lave-linge ?

**Données utiles** $V_{tartre} = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$ (2.1) ; $\rho = 2{,}65 \times 10^6\ \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ; $M(\text{CaCO}_3) = 100{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; flacon : $V = 750$ mL, $c = 2{,}4\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

**Démarche** : comparer la quantité d'ions $\text{H}_3\text{O}^+$ nécessaire pour consommer tout le tartre à celle que contient le flacon.

**Quantité de tartre** : $m(\text{CaCO}_3) = \rho V_{tartre}$, donc

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{\rho V_{tartre}}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{2{,}65 \times 10^6 \times 2{,}0 \times 10^{-5}}{100{,}1} = 0{,}53\ \text{mol}$$

**Quantité d'ions nécessaire** : d'après $2\,\text{H}_3\text{O}^+ + \text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + 3\,\text{H}_2\text{O}$, il faut 2 mol de $\text{H}_3\text{O}^+$ par mole de $\text{CaCO}_3$ :

$n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{néc}} = 2\,n(\text{CaCO}_3) = 2 \times 0{,}53 = 1{,}1$ mol

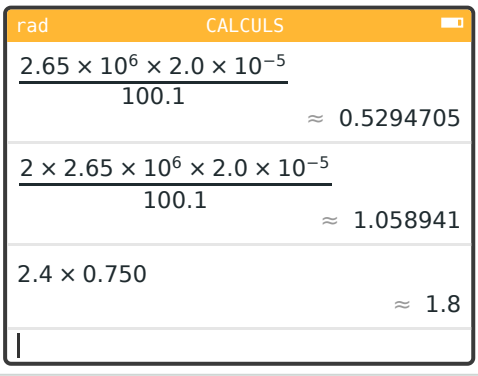
**Quantité disponible dans le flacon** : $n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{flacon}} = c\,V = 2{,}4 \times 0{,}750 = 1{,}8$ mol

$1{,}8\ \text{mol} > 1{,}1\ \text{mol}$ : le flacon suffit pour détartrer totalement le tambour ; le carbonate de calcium est le réactif limitant.

**PIÈGE**
Oublier le coefficient 2 devant $\text{H}_3\text{O}^+$, ou comparer directement $1{,}8$ mol à $0{,}53$ mol. La conclusion resterait la même ici, mais le raisonnement serait faux.

**MÉTHODE**
Question ouverte : annoncer la démarche, nommer chaque grandeur, détailler les calculs, puis conclure par une phrase qui répond à la question. Les étapes justes rapportent des points même si le résultat final est faux.

**À LA CALCULATRICE**



# Spécialité : Traitement de l'eau d'un bassin d'ornement

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

**1** Déterminer la valeur de la concentration massique en vert de malachite $(\mathrm{VM})^+(\mathrm{aq})$ de la solution aqueuse $S_0$.

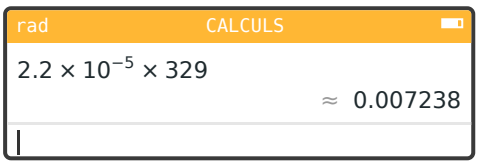
**Données utiles** $c_0 = 2{,}2 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ ; $M((\mathrm{VM})^+) = 329\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

La concentration massique $t_0$ et la concentration molaire $c_0$ sont liées par la masse molaire : $t_0 = c_0 \times M$.

$$t_0 = 2{,}2 \times 10^{-5} \times 329 = 7{,}2 \times 10^{-3}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$$

$t_0 = 7{,}2 \times 10^{-3}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, soit $7{,}2\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$

**À LA CALCULATRICE**




**COMPRENDRE**

Deux chiffres significatifs, comme $c_0$, la donnée la moins précise. La « concentration massique » de ce sujet de 2017 s'appelle « concentration en masse » dans le programme actuel : c'est la même grandeur.

**MÉTHODE**

Vérifier par les unités : $\mathrm{mol \cdot L^{-1}} \times \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ donne bien des $\mathrm{g \cdot L^{-1}}$. On multiplie par $M$, on ne divise pas.

**2** Montrer que la loi de Beer-Lambert est vérifiée avec la gamme étalon réalisée par le technicien.

**Données utiles** $c_0 = 2{,}2 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ ; dilutions 5 fois, 2,5 fois et 2 fois ; $A_1 = 0{,}35$ ; $A_2 = 0{,}72$ ; $A_3 = 0{,}90$

Loi de Beer-Lambert : à une longueur d'onde donnée, l'absorbance est proportionnelle à la concentration de l'espèce colorée, $A = k \times c$.

Concentrations des solutions étalons (dilution d'un facteur $F$ : $c = \dfrac{c_0}{F}$) :

$c_1 = \dfrac{2{,}2 \times 10^{-5}}{5} = 4{,}4 \times 10^{-6}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ ; $c_2 = \dfrac{2{,}2 \times 10^{-5}}{2{,}5} = 8{,}8 \times 10^{-6}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ ; $c_3 = \dfrac{2{,}2 \times 10^{-5}}{2} = 1{,}1 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

Rapports $\dfrac{A}{c}$ :

$\dfrac{A_1}{c_1} = \dfrac{0{,}35}{4{,}4 \times 10^{-6}} = 8{,}0 \times 10^4\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$ ; $\dfrac{A_2}{c_2} = \dfrac{0{,}72}{8{,}8 \times 10^{-6}} = 8{,}2 \times 10^4\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$ ; $\dfrac{A_3}{c_3} = \dfrac{0{,}90}{1{,}1 \times 10^{-5}} = 8{,}2 \times 10^4\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$

Les trois rapports sont égaux à moins de 3 % près, ce qui est compatible avec la précision des mesures. De même, sur le graphique $A = f(c)$, les points sont alignés sur une droite passant par l'origine.

$\dfrac{A}{c} \approx 8{,}1 \times 10^4\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$ pour les trois solutions : $A$ est proportionnelle à $c$, la loi de Beer-Lambert est vérifiée.

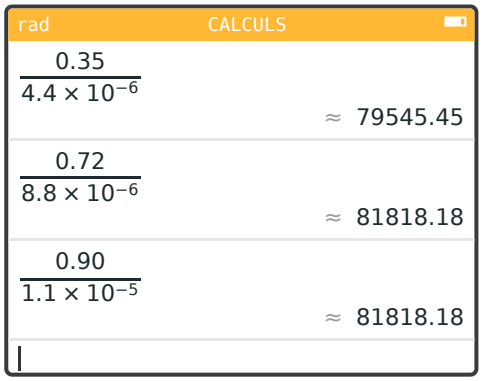
**PIÈGE**

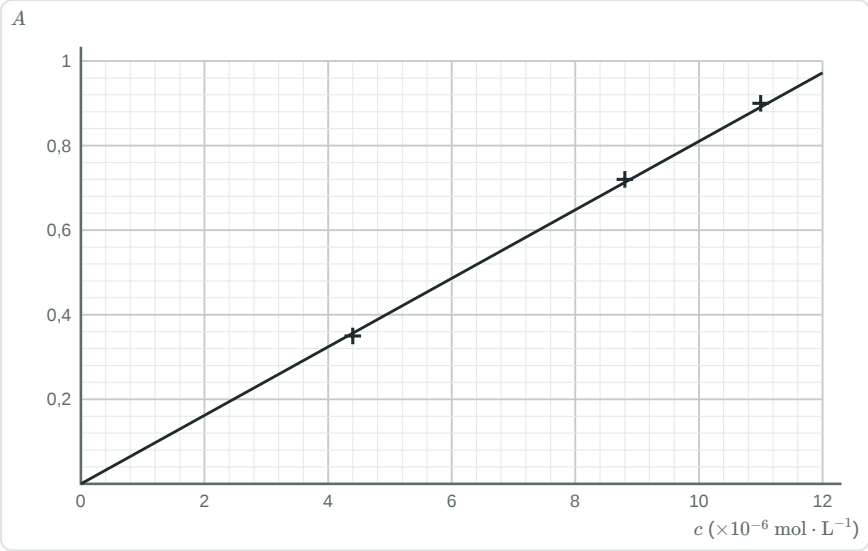
Dire seulement que $A$ augmente quand $c$ augmente ne prouve rien. Il faut établir la proportionnalité : rapport $\dfrac{A}{c}$ constant, ou droite passant par l'origine.

**COMPRENDRE**

Diluer 5 fois signifie diviser la concentration par 5. La solution la plus diluée, $S_1$, est donc la moins concentrée et la moins absorbante.

**À LA CALCULATRICE**






**2** · Absorbance des solutions étalons en fonction de leur concentration

**3** Déterminer le nombre de sacs de charbon actif de 500 g que doit utiliser le technicien pour éliminer le vert de malachite restant dans l'eau du bassin.

**Données utiles** $A_{\text{eau}} = 0{,}67$ ; $k = 8{,}1 \times 10^4\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ (Q2) ; $M = 329\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; $h = 0{,}50$ m ; $\ell = 3{,}0$ m ; $L = 8{,}0$ m ; 1 g de charbon actif retient au minimum 10 mg de vert de malachite

**Concentration molaire de l'eau du bassin.** $A_{\text{eau}} = 0{,}67$ est dans le domaine de la gamme étalon (entre 0,35 et 0,90) : la loi de Beer-Lambert s'applique.

$$c_{\text{eau}} = \frac{A_{\text{eau}}}{k} = \frac{0{,}67}{8{,}1 \times 10^4} = 8{,}3 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**Concentration massique.** $t_{\text{eau}} = c_{\text{eau}} \times M = 8{,}3 \times 10^{-6} \times 329 = 2{,}7 \times 10^{-3}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

**Volume d'eau.** Le bassin est assimilé à un pavé droit : $V = h \times \ell \times L = 0{,}50 \times 3{,}0 \times 8{,}0 = 12\ \text{m}^3 = 1{,}2 \times 10^4\ \text{L}$

**Masse de vert de malachite restant.** $m = t_{\text{eau}} \times V = 2{,}72 \times 10^{-3} \times 1{,}2 \times 10^4 = 33\ \text{g}$ (valeur non arrondie de $t_{\text{eau}}$ conservée), soit $3{,}3 \times 10^4$ mg.

**Masse de charbon actif.** 1 g de charbon retient au moins 10 mg de colorant : $m_{\text{charbon}} = \dfrac{3{,}3 \times 10^4}{10} = 3{,}3 \times 10^3\ \text{g}$

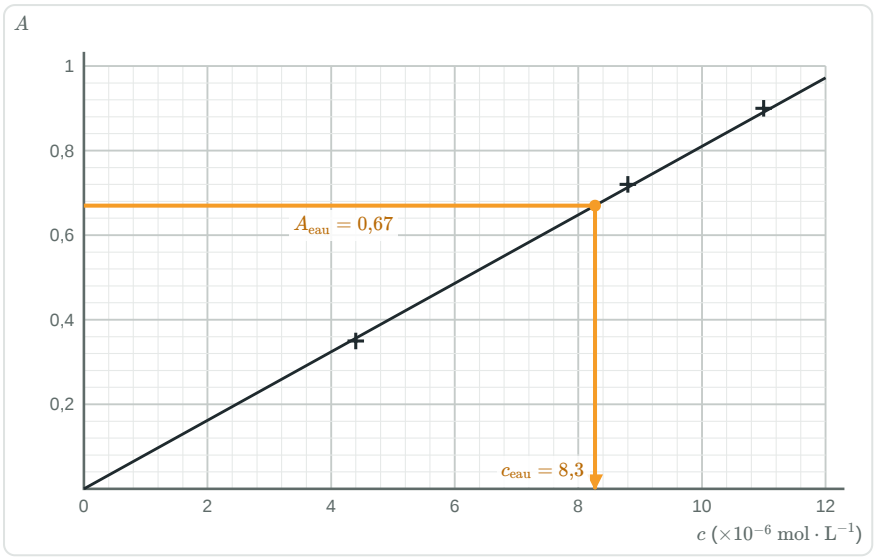
**Nombre de sacs.** $N = \dfrac{3{,}3 \times 10^3}{500} = 6{,}6$. Six sacs ne suffisent pas : on arrondit à l'entier supérieur.

Le technicien doit utiliser **7 sacs** de charbon actif de 500 g (environ 3,3 kg de charbon nécessaires).

**PIÈGE**
Oublier la conversion $1\ \text{m}^3 = 1000\ \text{L}$, ou mélanger grammes et milligrammes : l'erreur atteint alors un facteur 1000 sur le nombre de sacs.

**COMPRENDRE**
Une lecture graphique de l'abscisse du point d'ordonnée 0,67 donne $8{,}2$ à $8{,}3 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et mène aussi à 7 sacs. La capacité annoncée étant un minimum, 7 sacs suffisent.

**MÉTHODE**
Résolution de problème : annoncer la chaîne (absorbance, concentration molaire, concentration massique, masse dans le bassin, charbon, sacs), puis une étape par ligne avec son unité. Garder les valeurs non arrondies en mémoire.




**3** · Lecture de la concentration de l'eau du bassin sur la droite d'étalonnage

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$$\frac{0.67}{8.1 \times 10^4} \approx 8.271605 \times 10^{-6}$$

$$\frac{0.67}{8.1 \times 10^4} \times 329 \approx 0.002721358$$

$$0.50 \times 3.0 \times 8.0 \approx 12$$

$$\frac{0.67}{8.1 \times 10^4} \times 329 \times 1.2 \times 10^4 \approx 32.6563$$

$$\frac{\frac{3.3 \times 10^4}{10}}{500} \approx 6.6$$