Corrigé complet — Bac S 2004 Métropole (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**A propos de l'aspirine** pH et concentration en ions oxonium · Réaction d'un acide avec l'eau · Tableau d'avancement · Taux d'avancement final · Conductivité d'une solution · Constante d'équilibre	4 pts	52 min	10 questions	p. 2
Ex 2	**Bizarre, bizarre...** Esters et estérification · Saponification et savons · Niveaux d'énergie de l'atome · Énergie d'un photon et longueur d'onde · Spectres d'émission · Domaines UV, visible et IR	5,5 pts	1 h 05	12 questions	p. 6
Ex 3	**Spécialité : L'eau de Dakin** Dissolution et concentration · Absorbance et loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage · Demi-équations d'oxydoréduction · Volume molaire d'un gaz · Écart relatif	4 pts	52 min	10 questions	p. 10
Ex 4	**Mécanique du vol d'un ballon sonde** Poussée d'Archimède · Deuxième loi de Newton · Frottement fluide · Méthode d'Euler · Vitesse limite · Écart relatif	6,5 pts	1 h 18	12 questions	p. 14

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.

A propos de l'aspirine

Bac S 2004 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Déterminer, à l'équilibre, la concentration $[H_3O^+]_{éq}$ en ions oxonium dans la solution S.

Données utiles $pH = 2{,}9$

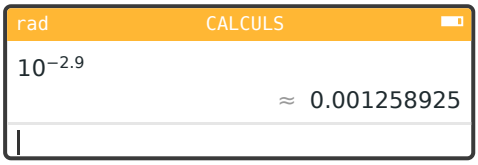
Par définition du pH : $[H_3O^+]_{éq} = c^\circ \times 10^{-pH}$ avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$.

$[H_3O^+]_{éq} = 10^{-2{,}9}$

$$\boxed{[H_3O^+]_{éq} = 1{,}3 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}}$$

COMPRENDRE
Le pH est donné au dixième : la concentration qui en découle n'est fiable qu'à deux chiffres significatifs au mieux. Tous les résultats tirés de ce pH sont donc écrits avec deux chiffres.

À LA CALCULATRICE



1.2 Écrire l'équation de la réaction entre l'acide acétylsalicylique AH et l'eau.

L'acide AH cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base (couples AH/A^- et H_3O^+/H_2O).

$$\boxed{AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$$

COMPRENDRE
La double flèche annonce une transformation limitée : la suite de l'exercice le confirme, puisque l'avancement final reste inférieur à l'avancement maximal.

1.3 Déterminer l'avancement final x_f de la réaction, en s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement.

Données utiles $pH = 2{,}9$; $V_S = 500{,}0\ mL$

Tableau d'avancement (quantités en mol, l'eau est le solvant, en excès) :

	AH	A^-	H_3O^+
état initial ($x = 0$)	$c_S V_S$	0	0
en cours (x)	$c_S V_S - x$	x	x
état final (x_f)	$c_S V_S - x_f$	x_f	x_f

Dans l'état final, $n(H_3O^+)_{éq} = x_f$, donc $x_f = [H_3O^+]_{éq} \times V_S = 10^{-pH} \times V_S$.

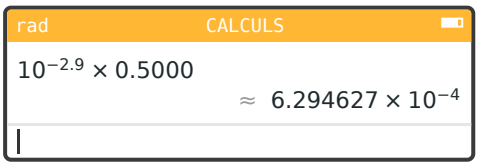
$x_f = 10^{-2{,}9} \times 0{,}5000$

$$\boxed{x_f = 6{,}3 \times 10^{-4}\ mol}$$

PIÈGE
Reprendre la valeur arrondie $1{,}3 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$ donne $6{,}5 \times 10^{-4}\ mol$. Il faut garder $10^{-2{,}9}$ dans le calcul et n'arrondir qu'à la fin.

COMPRENDRE
Les ions oxonium apportés par l'autoprotolyse de l'eau sont négligés : à pH 2,9, ils sont en quantité infime devant ceux produits par l'acide.

À LA CALCULATRICE



1.4 Déterminer l'avancement maximal x_{max} de la réaction.

Données utiles $c_S = 5{,}55 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_S = 500{,}0\ \text{mL}$

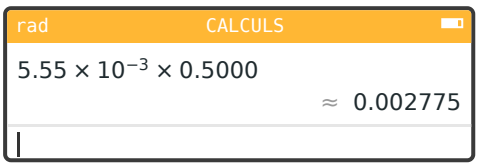
L'eau étant en excès, AH est le réactif limitant. Si la transformation était totale, il disparaîtrait entièrement : $c_S V_S - x_{max} = 0$.

$$x_{max} = c_S \times V_S = 5{,}55 \times 10^{-3} \times 0{,}5000$$

$$\boxed{x_{max} = 2{,}78 \times 10^{-3}\ \text{mol}}$$

PIÈGE
Oublier de convertir V_S en litres : $500{,}0\ \text{mL} = 0{,}5000\ \text{L}$.

À LA CALCULATRICE



1.5 Déterminer le taux d'avancement final τ de la réaction. La transformation étudiée est-elle totale ?

Données utiles x_f (1.3) ; x_{max} (1.4)

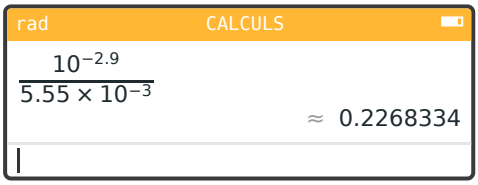
$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{10^{-\text{pH}} \times V_S}{c_S \times V_S} = \frac{10^{-\text{pH}}}{c_S}$$

$$\tau = \frac{10^{-2{,}9}}{5{,}55 \times 10^{-3}} = 0{,}23$$

$\tau = 0{,}23$ soit $23\ \%$; comme $\tau < 1$, la transformation n'est pas totale, elle est limitée.

MÉTHODE
Simplifier l'expression littérale avant de calculer : le volume disparaît, et l'on évite d'utiliser deux valeurs déjà arrondies.

À LA CALCULATRICE



2.1 Exprimer l'avancement final x_f en fonction de σ, des conductivités molaires ioniques utiles et du volume V_S.

D'après le tableau d'avancement, $n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éq}} = n(\text{A}^-)_{\text{éq}} = x_f$, donc

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = [\text{A}^-]_{\text{éq}} = \frac{x_f}{V_S}$$

La relation (1) devient : $\sigma = (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{A}^-})\,\dfrac{x_f}{V_S}$

$$\boxed{x_f = \frac{\sigma \times V_S}{\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{A}^-}}}$$

COMPRENDRE
La réaction forme autant d'ions A^- que d'ions H_3O^+ : c'est cette égalité qui permet de factoriser la relation (1).

2.2 En déduire la valeur de x_f.

Données utiles $\sigma = 44\ \text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$; $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35{,}0\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{A}^-} = 3{,}6\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_S = 500{,}0\ \text{mL}$

Le volume doit être exprimé en m^3 : $V_S = 0{,}5000\ \text{L} = 0{,}5000 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$.

$$x_f = \frac{44 \times 0{,}5000 \times 10^{-3}}{35{,}0 + 3{,}6}$$

$$\boxed{x_f = 5{,}7 \times 10^{-4}\ \text{mol}}$$

PIÈGE
Laisser V_S en litres donne un résultat mille fois trop grand. Avec σ en $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ et λ en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, les concentrations sont en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{44 \times 0.5000 \times 10^{-3}}{35.0 + 3.6} \approx 5.699482 \times 10^{-4}$$

COMPRENDRE

Les millisiemens se simplifient entre numérateur et dénominateur, inutile de les convertir. On vérifie que $x_f < x_{max}$, et que la valeur est proche de celle de la question 1.3.

2.3 Calculer les concentrations molaires à l'équilibre des espèces AH, A^- et H_3O^+.

Données utiles $c_S = 5{,}55 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; expression de x_f (2.1)

$$[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = \frac{x_f}{V_S} = \frac{\sigma}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{A^-}}$$

$$[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = \frac{44}{35{,}0 + 3{,}6} = 1{,}1\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1{,}1 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Conservation de la matière : $[AH]_{éq} = \frac{c_S V_S - x_f}{V_S} = c_S - \frac{x_f}{V_S}$

$$[AH]_{éq} = 5{,}55 \times 10^{-3} - 1{,}14 \times 10^{-3} = 4{,}4 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = 1{,}1 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $[AH]_{éq} = 4{,}4 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE

$1\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3} = 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, et non 10^3 : un mètre cube contient mille litres, il y a donc mille fois moins de matière dans un litre.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{44}{35.0 + 3.6} \approx 1.139896$$

$$5.55 \times 10^{-3} - \frac{44}{35.0 + 3.6} \times 1 \times 10^{-3} \approx 0.004410104$$

2.4 Donner l'expression de la constante d'équilibre K associée à la réaction entre l'acide AH et l'eau, puis la calculer.

Données utiles concentrations à l'équilibre non arrondies (2.3)

L'eau, solvant, n'apparaît pas dans l'expression (concentrations en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) :

$$K = \frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}}$$

$$K = \frac{(1{,}14 \times 10^{-3})^2}{4{,}41 \times 10^{-3}}$$

$K = 2{,}9 \times 10^{-4}$

PIÈGE

Calculer avec les valeurs arrondies à deux chiffres ($1{,}1$ et $4{,}4$) conduit à $2{,}8 \times 10^{-4}$. Il faut garder un chiffre de plus dans les calculs intermédiaires.

COMPRENDRE

K est la constante d'acidité K_A du couple AH/A^-. Le sujet donne $pK_A = 3{,}5$, soit $K_A = 10^{-3{,}5} = 3{,}2 \times 10^{-4}$: le résultat est cohérent.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{(1.14 \times 10^{-3})^2}{4.41 \times 10^{-3}} \approx 2.946939 \times 10^{-4}$$

3 Conclure brièvement sur la précision des deux techniques, sans calcul d'erreur relative.

Données utiles pH-métrie : x_f entre $5{,}0 \times 10^{-4}$ et $7{,}9 \times 10^{-4}$ mol ; conductimétrie : x_f entre $5{,}6 \times 10^{-4}$ et $5{,}8 \times 10^{-4}$ mol

Avec le pH-mètre, l'intervalle des valeurs possibles de x_f a une largeur de $2{,}9 \times 10^{-4}$ mol. Avec le conductimètre, cette largeur n'est que de $0{,}2 \times 10^{-4}$ mol.

L'encadrement de x_f est beaucoup plus étroit par conductimétrie : cette technique est ici la plus précise.

COMPRENDRE
Le pH est un logarithme : un écart de 0,1 unité multiplie ou divise la concentration par $10^{0{,}1} \approx 1{,}26$. La conductivité, elle, est proportionnelle à x_f.

Bizarre, bizarre...

Bac S 2004 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Écrire l'équation de la réaction associée à la dissolution de la potasse solide dans l'eau.

Données utiles potasse KOH ; elle contient des ions potassium K^+

Le solide ionique se dissocie dans l'eau en ions potassium et en ions hydroxyde :

$$KOH\,(s) \longrightarrow K^+\,(aq) + HO^-\,(aq)$$

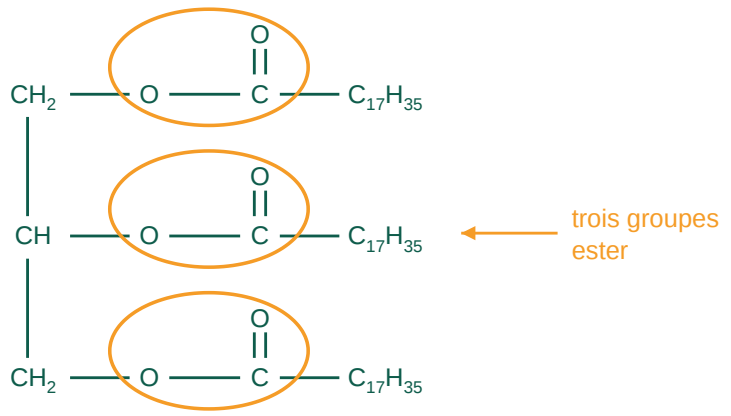
COMPRENDRE
L'équation doit respecter la conservation des éléments et de la charge : un ion K^+ est forcément accompagné d'un ion HO^-. La solution obtenue est basique.

1.2.1 À quelle famille chimique appartient le tristéarate de glycéryle ? Recopier la formule et entourer les groupes caractéristiques correspondants.

La molécule comporte trois fois l'enchaînement $-O-CO-$, relié de chaque côté à un atome de carbone : c'est un ester, et plus précisément un triester.

Le tristéarate de glycéryle appartient à la famille des **esters** (trois groupes ester entourés sur la formule).

PIÈGE
Entourer seulement $C{=}O$: c'est le groupe carbonyle. Le groupe ester comprend le carbone, l'oxygène doublement lié et l'oxygène simplement lié.



1.2.1 · Tristéarate de glycéryle : les trois groupes caractéristiques entourés

1.2.2 Donner la formule de l'acide, la formule et le nom de l'alcool nécessaires pour fabriquer le tristéarate de glycéryle. Comment se nomme cette réaction ?

Un ester $R{-}COO{-}R'$ s'obtient à partir de l'acide carboxylique $R{-}COOH$ et de l'alcool $R'{-}OH$.

- Acide : $C_{17}H_{35}{-}COOH$.
- Alcool : $HO{-}CH_2{-}CH(OH){-}CH_2{-}OH$, le glycérol, de nom officiel propane-1,2,3-triol.

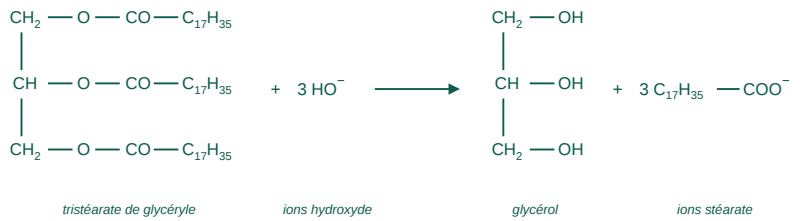
Acide $C_{17}H_{35}{-}COOH$ et propane-1,2,3-triol (glycérol) ; la réaction est une **estérification**.

MÉTHODE
Pour retrouver les réactifs, couper chaque groupe ester entre le carbone du $C{=}O$ et l'oxygène simplement lié : le côté $C{=}O$ reçoit $-OH$ (acide), le côté oxygène reçoit H (alcool).

1.3.1 En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation lors du mélange de suif et de cendre.

Les ions hydroxyde apportés par la potasse réagissent avec les trois groupes ester du suif. Il faut un ion HO^- par groupe ester ; il se forme du glycérol et trois ions carboxylate (ions stéarate).

$C_{57}H_{110}O_6 + 3\,HO^- \longrightarrow C_3H_8O_3 + 3\,C_{17}H_{35}-COO^-$, écrite en formules semi-développées sur la figure.



1.3.1 · Équation de la réaction entre le suif et la potasse

PIÈGE
Écrire comme produit l'acide $C_{17}H_{35}-COOH$: en milieu basique, on obtient sa base conjuguée, l'ion carboxylate. Vérifier aussi le coefficient 3 et la conservation de la charge.

COMPRENDRE
Cette réaction est une saponification (hydrolyse basique d'un ester). Les ions K^+, spectateurs, n'apparaissent pas dans l'équation ; le savon est le stéarate de potassium.

1.3.2 Identifier la partie hydrophile de l'ion négatif contenu dans ce savon et définir le terme « hydrophile ».

L'ion négatif du savon est l'ion stéarate $C_{17}H_{35}-COO^-$.

Hydrophile signifie « qui a de l'affinité pour l'eau » : cette partie de l'ion s'entoure facilement de molécules d'eau.

La partie hydrophile est le groupe carboxylate $-COO-$, qui porte la charge négative.

COMPRENDRE
La longue chaîne carbonée $C_{17}H_{35}-$ est au contraire lipophile : elle se lie aux graisses. L'ion accroche donc la salissure grasse d'un côté et l'eau de l'autre, ce qui explique le pouvoir nettoyant.

2.1 À l'aide des spectres de l'annexe, dire quel gaz est contenu dans les tubes 1 et 2. Justifier.

Les spectres des tubes 1 et 2 présentent quatre raies intenses, vers 405 nm, 435 nm, 545 nm et 580 nm. Ces raies se trouvent aux mêmes longueurs d'onde dans le spectre de la lampe à vapeur de mercure (figure 3).

La lampe à vapeur de sodium (figure 4) n'émet qu'une raie, vers 590 nm, et aucune des raies situées en dessous de 550 nm.

Les tubes 1 et 2 contiennent de la **vapeur de mercure**.

COMPRENDRE
Un spectre de raies d'émission est la signature d'un élément chimique : chaque raie correspond à une transition entre deux niveaux d'énergie de l'atome.

2.2.1 Comment désigne-t-on le niveau le plus bas E_0 sur le diagramme énergétique ?

E_0 est le niveau (ou état) **fondamental** : l'état de plus basse énergie, le plus stable.

2.2.2 L'atome de mercure passe du niveau E_0 au niveau E_1. Comment qualifie-t-on l'état dans lequel il se trouve alors ?

L'atome est dans un **état excité**.

COMPRENDRE
Ici, l'énergie est apportée par le choc avec un électron de la décharge, et non par l'absorption d'un photon. L'état excité est instable : l'atome revient rapidement vers un niveau inférieur.

2.2.3 Lors de la transition de E_1 vers E_0 : a) comment se manifeste la perte d'énergie ? b) Calculer la longueur d'onde $\lambda_{1\to0}$ dans le vide. c) Rappeler les limites du spectre visible et situer cette radiation (UV, visible ou IR).

Données utiles $E_1 = -5{,}54$ eV ; $E_0 = -10{,}44$ eV ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

a) L'atome émet un photon, qui emporte l'énergie perdue : $E_{\text{photon}} = E_1 - E_0$.

b) $E_1 - E_0 = -5{,}54 - (-10{,}44) = 4{,}90$ eV $= 4{,}90 \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 7{,}84 \times 10^{-19}$ J.

L'énergie du photon vaut $E_1 - E_0 = \dfrac{h\,c}{\lambda_{1\to0}}$, donc $\lambda_{1\to0} = \dfrac{h\,c}{E_1 - E_0}$.

$$\lambda_{1\to0} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{7{,}84 \times 10^{-19}} = 2{,}54 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

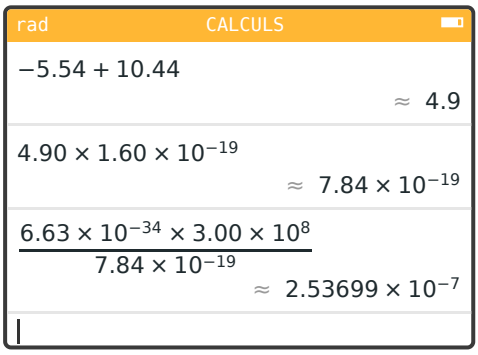
c) Le spectre visible s'étend, dans le vide, de 400 nm (violet) à 800 nm (rouge). Or $254\ \text{nm} < 400\ \text{nm}$.

$\lambda_{1\to0} = 2{,}54 \times 10^{-7}$ m $= 254$ nm : la radiation appartient au domaine **ultraviolet**.

PIÈGE
Laisser l'énergie en électronvolts dans $\lambda = hc/\Delta E$: il faut des joules. Attention aussi au signe : la différence $E_1 - E_0$ est positive, une longueur d'onde ne peut pas être négative.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme h, c et la conversion de l'électronvolt. L'unité « S.I. » de h est le joule seconde.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 La poudre émet de la lumière visible si elle reçoit un rayonnement de longueur d'onde comprise entre 200 nm et 300 nm. La vapeur de mercure permet-elle cette émission ? Justifier.

Données utiles $\lambda_{1\to0} = 254$ nm (2.2.3)

Les atomes de mercure excités par la décharge émettent, en revenant au niveau fondamental, une radiation de longueur d'onde $\lambda_{1\to0} = 254$ nm.

$200\ \text{nm} < 254\ \text{nm} < 300\ \text{nm}$: cette radiation est dans l'intervalle qui convient à la poudre.

Oui : le rayonnement ultraviolet à 254 nm émis par le mercure permet à la poudre d'émettre de la lumière visible.

2.3.2 En comparant les spectres des figures 2 et 3 (ou 1 et 3), indiquer le rôle des poudres.

La lampe à vapeur de mercure (figure 3) donne un spectre de raies : entre les raies, aucune lumière n'est émise. Le tube 2 (figure 2) présente les mêmes raies, mais aussi un fond continu qui couvre presque tout le visible, de 400 nm à 650 nm environ.

La poudre transforme le rayonnement ultraviolet du mercure en lumière visible de spectre continu, plus proche de la lumière solaire : l'éclairage restitue mieux les couleurs.

COMPRENDRE
Sans poudre, l'essentiel de l'énergie rayonnée resterait dans l'ultraviolet, invisible : la poudre améliore à la fois la qualité de la lumière et la quantité de lumière utile.

2.3.3 En comparant les spectres des figures 1 et 2, montrer que la nature de la poudre a une influence sur la couleur de la lumière émise.

Les deux tubes contiennent le même gaz : les raies du mercure sont identiques. Seul le fond continu, dû à la poudre, diffère.

- Tube 1 : le fond continu est faible en dessous de 550 nm et présente un maximum marqué vers 580-600 nm (jaune-orangé).
- Tube 2 : le fond continu est mieux réparti, de 450 nm à 650 nm, sans maximum aussi marqué.

Les intensités relatives des radiations dépendent de la poudre : la lumière du tube 1 tire sur le jaune-orangé, celle du tube 2 est plus proche du blanc.

MÉTHODE

Pour comparer deux spectres, séparer ce qui est commun (ici les raies, donc le gaz) de ce qui change (ici le fond continu, donc la poudre), puis relier la zone de plus forte intensité à une couleur.

Spécialité : L'eau de Dakin

Bac S 2004 Métropole (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Calculer la masse de permanganate de potassium solide $\mathrm{KMnO_4}$ à peser pour préparer la solution mère S_0 par dissolution.

Données utiles $V_0 = 500$ mL ; $c_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $M(\mathrm{K}) = 39{,}0$; $M(\mathrm{Mn}) = 55{,}0$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Masse molaire : $M(\mathrm{KMnO_4}) = 39{,}0 + 55{,}0 + 4 \times 16{,}0 = 158{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

Quantité de matière à dissoudre : $n_0 = c_0\, V_0$, donc $m_0 = n_0\, M = c_0\, V_0\, M$.

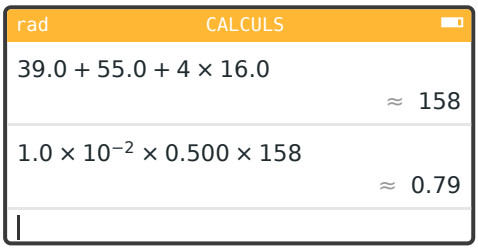
$$m_0 = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 0{,}500 \times 158{,}0$$

$\boxed{m_0 = 0{,}79\ \mathrm{g}}$

PIÈGE
Laisser V_0 en millilitres : la concentration est en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, il faut écrire $V_0 = 0{,}500$ L.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, comme c_0, la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Tracer la courbe $A = f(c)$ sur papier millimétré, puis déterminer la relation numérique entre A et c.

Données utiles tableau des cinq solutions S_1 à S_5 (concentration c et absorbance A à 530 nm)

Les cinq points sont alignés sur une droite qui passe par l'origine : A est proportionnelle à c, soit $A = k\, c$.

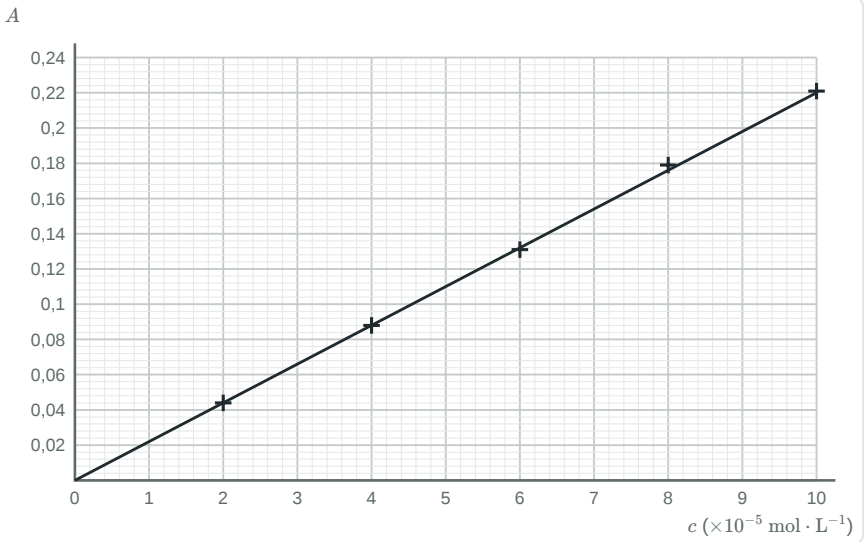
Coefficient directeur, calculé entre l'origine et le point de la droite d'abscisse $4{,}0 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$:

$$k = \frac{0{,}088 - 0}{4{,}0 \times 10^{-5} - 0} = 2{,}2 \times 10^{3}\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$$

$\boxed{A = 2{,}2 \times 10^{3} \times c,\ \text{avec } c \text{ en } \mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$

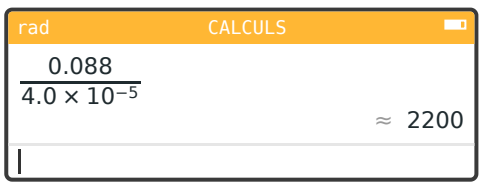
PIÈGE
Avec l'échelle imposée, l'axe des abscisses mesure 20 cm et celui des ordonnées plus de 22 cm : placer la feuille en hauteur et graduer avant de placer les points.

MÉTHODE
Tracer la droite à la règle, au plus près de tous les points et par l'origine, puis lire le coefficient directeur sur un point de la droite tracée, pas forcément sur un point du tableau.



1.2.1 · Courbe d'étalonnage A = f(c) à 530 nm

À LA CALCULATRICE



1.2.2 À partir du spectre d'absorption (figure 1), expliquer comment on a choisi la longueur d'onde de l'étude.

Sur le spectre, l'absorbance de la solution de permanganate de potassium est la plus grande au voisinage de 530 nm.

On règle le spectrophotomètre sur $\lambda = 530$ nm, longueur d'onde du maximum d'absorption de l'espèce dosée.

COMPRENDRE
Au maximum d'absorption, les absorbances mesurées sont les plus grandes possibles : l'incertitude relative sur A est la plus faible et les mesures sont plus précises.

1.2.3 Le spectre a-t-il été réalisé avec une solution plus concentrée ou moins concentrée que celles du tableau ? Justifier sans calcul.

Données utiles figure 1 : $A \approx 2{,}5$ à 530 nm ; tableau : $A \leqslant 0{,}221$ à 530 nm

À 530 nm, l'absorbance lue sur le spectre vaut environ 2,5 : elle est très supérieure à toutes celles du tableau, dont la plus grande est 0,221.

D'après la loi de Beer-Lambert, à une longueur d'onde donnée, l'absorbance est proportionnelle à la concentration.

Le spectre a été réalisé avec une solution **plus concentrée** que celles du tableau.

PIÈGE
Comparer des absorbances lues à des longueurs d'onde différentes : la comparaison n'a de sens qu'à 530 nm, et avec la même cuve.

1.3.1 En déduire la concentration molaire c_{exp} en permanganate de potassium apporté de l'eau de Dakin.

Données utiles $A = 0{,}14$ à 530 nm ; $A = 2{,}2 \times 10^3 \times c$ (1.2.1)

Seul le permanganate de potassium absorbe à 530 nm, donc la relation d'étalonnage s'applique à l'eau de Dakin :

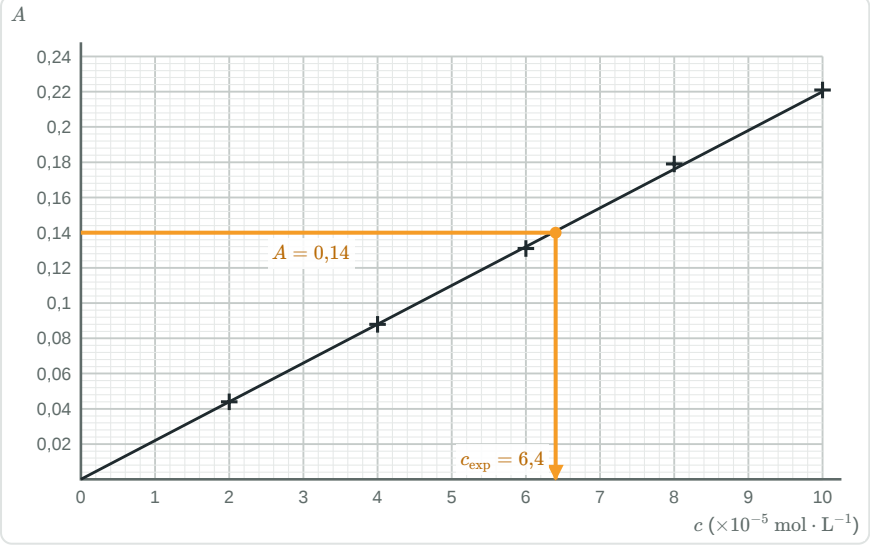
$$c_{exp} = \frac{A}{k} = \frac{0{,}14}{2{,}2 \times 10^3}$$

$c_{exp} = 6{,}4 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

COMPRENDRE
La valeur trouvée est comprise entre celles de S_5 et S_1 : elle se situe dans le domaine étalonné, la lecture est légitime.

MÉTHODE
On peut aussi lire directement sur le graphique : horizontale à $A = 0{,}14$ jusqu'à la droite, puis verticale jusqu'à l'axe des abscisses.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 · Lecture de la concentration de l'eau de Dakin

1.3.2 À partir de l'étiquette, calculer la concentration molaire c en permanganate de potassium apporté et la comparer au résultat expérimental (écart relatif en pourcentage).

Données utiles étiquette : $m = 0{,}0010$ g pour $V = 100$ mL ; $M(KMnO_4) = 158{,}0\ g \cdot mol^{-1}$ (1.1) ; c_{exp} (1.3.1)

$$c = \frac{n}{V} = \frac{m}{M\,V} = \frac{0{,}0010}{158{,}0 \times 0{,}100} = 6{,}3 \times 10^{-5}\ mol \cdot L^{-1}$$

Écart relatif, calculé avec les valeurs non arrondies :

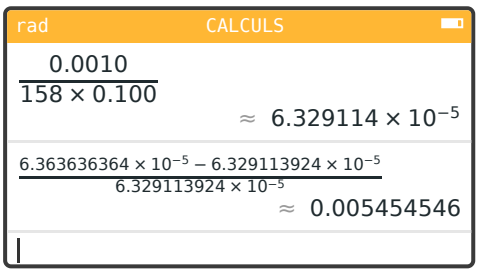
$$\left|\frac{c - c_{exp}}{c}\right| = \frac{\left|6{,}33 \times 10^{-5} - 6{,}36 \times 10^{-5}\right|}{6{,}33 \times 10^{-5}} \approx 0{,}005$$

$c = 6{,}3 \times 10^{-5}\ mol \cdot L^{-1}$; écart relatif d'environ 0,5 % : la mesure est en accord avec l'étiquette.

PIÈGE
Calculer l'écart avec les valeurs arrondies 6,3 et 6,4 donne 1,6 %, trois fois trop. Garder les valeurs de la calculatrice et n'arrondir qu'à la fin.

COMPRENDRE
Les deux concentrations ne sont connues qu'à deux chiffres significatifs : un écart inférieur à 2 % signifie simplement qu'elles sont égales à la précision des mesures.

À LA CALCULATRICE



2.1 Écrire, dans le cas de la réaction (1), la demi-équation associée à chacun des couples Cl_2 / Cl^- et ClO^- / Cl_2.

Dans la réaction (1), l'ion chlorure est le réducteur du couple Cl_2 / Cl^- ; il est oxydé :

$$2\,Cl^-\,(aq) = Cl_2\,(g) + 2\,e^-$$

L'ion hypochlorite est l'oxydant du couple ClO^- / Cl_2 ; il est réduit :

$$2\,ClO^-\,(aq) + 4\,H^+\,(aq) + 2\,e^- = Cl_2\,(g) + 2\,H_2O\,(l)$$

$2\,Cl^- = Cl_2 + 2\,e^-$ et $2\,ClO^- + 4\,H^+ + 2\,e^- = Cl_2 + 2\,H_2O$

COMPRENDRE
La somme des deux demi-équations, divisée par deux, redonne bien l'équation (1) : c'est le moyen de vérifier le sens d'écriture et les coefficients.

MÉTHODE
Équilibrer dans l'ordre : l'élément chlore, l'oxygène avec H_2O, l'hydrogène avec H^+, puis les charges avec les électrons.

2.2.1 Justifier l'utilisation de l'eau salée pour la récupération du dichlore.

Données utiles solubilité du dichlore à 20 °C : $8\ g \cdot L^{-1}$ dans l'eau ; très peu soluble dans l'eau salée

Dans l'eau pure, le dichlore est assez soluble ($8\ g \cdot L^{-1}$) : une partie du gaz formé se dissoudrait dans la cuve et le volume recueilli serait trop faible.

Le dichlore étant très peu soluble dans l'eau salée, presque tout le gaz dégagé est recueilli et mesuré.

COMPRENDRE
La masse attendue n'est que de 0,5 g : avec une cuve d'eau pure, la totalité du dichlore pourrait se dissoudre.

2.2.2 Calculer la masse de dichlore recueilli et la comparer à l'indication de l'étiquette (écart relatif en pourcentage).

Données utiles volume de dichlore recueilli $V_{Cl_2} = 170$ mL ; $V_M = 24{,}0\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{Cl}) = 35{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; étiquette : $m = 0{,}500$ g

Quantité de dichlore : $n = \dfrac{V_{Cl_2}}{V_M}$, avec $M(Cl_2) = 2 \times 35{,}5 = 71{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

$$m_{\text{exp}} = n\,M(Cl_2) = \frac{V_{Cl_2}}{V_M}\,M(Cl_2) = \frac{0{,}170}{24{,}0} \times 71{,}0 = 0{,}503\ \text{g}$$

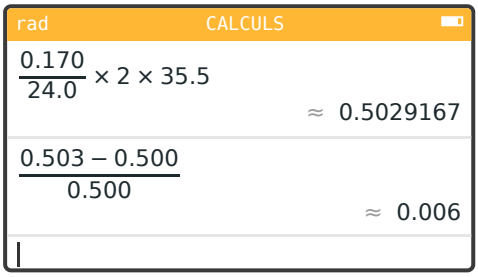
$$\left|\frac{m - m_{\text{exp}}}{m}\right| = \frac{|0{,}500 - 0{,}503|}{0{,}500} = 0{,}006$$

$m_{\text{exp}} = 0{,}503$ g ; écart relatif de 0,6 % : la masse de chlore actif est conforme à l'étiquette.

PIÈGE
Prendre $35{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour le dichlore : la molécule Cl_2 contient deux atomes. Le sujet note aussi V le volume de gaz : ne pas le confondre avec les 100 mL de solution.

COMPRENDRE
Les 100 mL traités sont exactement le volume de référence de l'étiquette : la masse trouvée se compare directement à 0,500 g, sans conversion.

À LA CALCULATRICE



3 Donner une raison justifiant la nécessité de maintenir basique l'eau de Dakin.

L'eau de Dakin contient à la fois des ions hypochlorite ClO^- et des ions chlorure Cl^-. En milieu acide, ils réagissent selon l'équation (1), qui consomme des ions H^+ et produit du dichlore.

En milieu basique, la réaction (1) n'a pas lieu : pas de dégagement de dichlore, gaz toxique, et le principe actif ClO^- est conservé.

COMPRENDRE
Les ions H^+ sont un réactif de (1). Tant qu'ils sont en quantité négligeable, la transformation ne se produit pas : c'est aussi pourquoi on ne mélange jamais eau de Javel et produit acide.

Mécanique du vol d'un ballon sonde

Bac S 2004 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

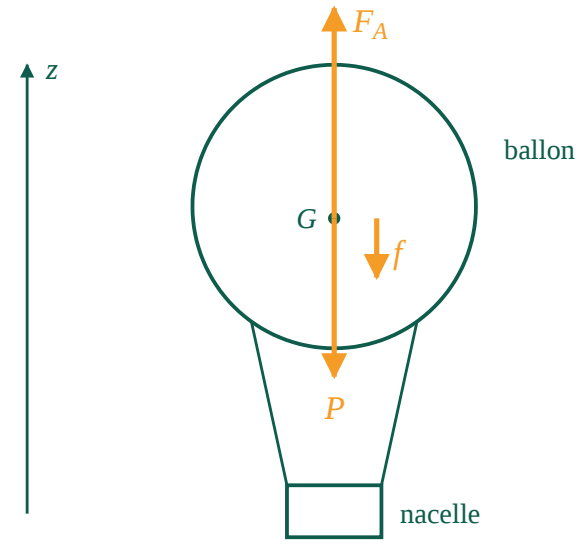
1.1.1 Établir le bilan des forces exercées sur le système {ballon + nacelle} juste après le décollage, en indiquant la direction et le sens de chaque force.

Système {ballon + nacelle}, référentiel terrestre supposé galiléen.
Trois forces, toutes de direction verticale :

- le poids $\vec{P}$, vers le bas ;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$ exercée par l'air, vers le haut ;
- la force de frottement de l'air $\vec{f}$, opposée au mouvement : le ballon monte, elle est donc vers le bas.

$\vec{P}$ (vertical, vers le bas), $\overrightarrow{F_A}$ (verticale, vers le haut), $\vec{f}$ (verticale, vers le bas)

PIÈGE
Orienter $\vec{f}$ vers le haut. Un frottement s'oppose toujours à la vitesse : pour un ballon qui monte, il est dirigé vers le bas, comme le poids.



1.1.1 · Forces sur le système juste après le décollage (le frottement est encore très faible)

1.1.2 Donner l'expression littérale de la valeur F_A de la poussée d'Archimède.

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'air déplacé, ici le volume V_b du ballon (celui de la nacelle est négligé) :

$$F_A = \rho V_b g$$

PIÈGE
Utiliser la masse volumique de l'hélium. ρ est celle du fluide déplacé, donc de l'air qui entoure le ballon.

1.1.3 Appliquer au système, de masse M, la seconde loi de Newton (relation vectorielle seulement).

Dans le référentiel terrestre galiléen, pour le système de masse M constante :

$$\vec{P} + \overrightarrow{F_A} + \vec{f} = M\,\vec{a}$$

1.1.4 La vitesse initiale étant nulle, quelle condition le vecteur accélération doit-il vérifier pour que le ballon s'élève ? En déduire une condition sur M.

Le ballon part sans vitesse : il ne s'élève que si $\vec{a}$ est vertical et dirigé vers le haut, soit $a_z > 0$ sur l'axe (Oz) orienté vers le haut.

Projection de la relation de 1.1.3 sur (Oz) : $-Mg + \rho V_b g - K\rho v^2 = Ma_z$.

Au décollage $v = 0$, donc $f = 0$: $\quad Ma_z = (\rho V_b - M)\, g > 0$

$$\boxed{M < \rho\, V_b}$$

COMPRENDRE
ρV_b est la masse d'air déplacé. Le ballon décolle si le système est plus léger que l'air dont il prend la place.

MÉTHODE
Projeter : une force dirigée dans le sens de l'axe compte positivement, une force de sens contraire négativement. Ici $+F_A$, $-P$, $-f$.

1.1.5 En déduire la masse maximale de matériel scientifique que l'on peut embarquer dans la nacelle.

Données utiles $\rho = 1{,}22\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $V_b = 9{,}0\ \text{m}^3$; $m = 2{,}10$ kg ; $m' = 0{,}50$ kg

En notant m_s la masse de matériel : $M = m + m' + m_s$.

La condition $M < \rho V_b$ (1.1.4) donne $m_s < \rho V_b - m - m'$.

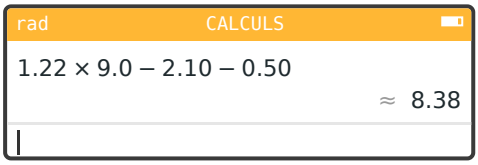
$$m_{s,\max} = 1{,}22 \times 9{,}0 - 2{,}10 - 0{,}50 = 8{,}4\ \text{kg}$$

$$\boxed{m_{s,\max} \approx 8{,}4\ \text{kg} \text{ (le matériel doit rester en dessous de cette masse)}}$$

PIÈGE
Oublier la masse de la nacelle vide, ou celle du ballon : M est la masse de tout le système.

COMPRENDRE
V_b n'a que deux chiffres significatifs : $\rho V_b \approx 11$ kg n'est connu qu'au dixième de kilogramme au mieux. On arrondit donc $8{,}38$ à $8{,}4$ kg.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Montrer que l'équation différentielle du mouvement se met sous la forme $A\,v^2 + B = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ et donner les expressions de A et B.

Projection sur (Oz) de la relation de 1.1.3, avec $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$:

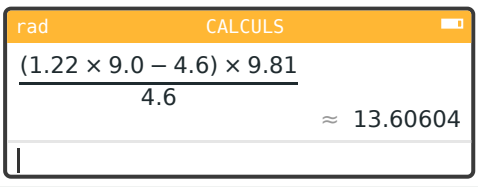
$$-Mg + \rho V_b g - K\rho v^2 = M\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

En divisant par M : $\quad \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{K\rho}{M}\,v^2 + \dfrac{(\rho V_b - M)\,g}{M}$

$$\boxed{A = -\frac{K\rho}{M} \text{ et } B = \frac{(\rho V_b - M)\,g}{M}}$$

COMPRENDRE
A est négatif (le frottement freine) et B positif : c'est l'accélération à $t = 0$, quand $v = 0$. Avec $M = 4{,}6$ kg, on retrouve bien $B = 13{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 Par la méthode d'Euler, avec un pas $\Delta t = 0{,}05$ s, recopier et compléter le tableau donnant v, a et Δv aux dates t_0, t_1 et t_2.

Données utiles $A = -0{,}53\ \text{m}^{-1}$; $B = 13{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v(t_0) = 0$; $a(t_0) = 13{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

À chaque date : $a(t_n) = A\,v(t_n)^2 + B$, puis $\Delta v(t_n) = a(t_n)\,\Delta t$ et $v(t_{n+1}) = v(t_n) + \Delta v(t_n)$.

- $\Delta v(t_0) = 13{,}6 \times 0{,}05 = 0{,}68\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc $v_1 = 0 + 0{,}68 = 0{,}68\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- $a(t_1) = -0{,}53 \times 0{,}68^2 + 13{,}6 = 13{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- $\Delta v(t_1) = 13{,}4 \times 0{,}05 = 0{,}67\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc $v_2 = 0{,}68 + 0{,}67 = 1{,}35\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

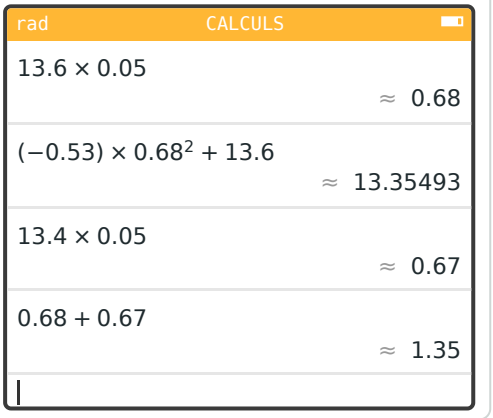
t (s)	$v(t_n)$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$a(t_n)$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	$\Delta v(t_n)$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
$t_0 = 0{,}0$	0	13,6	0,68
$t_1 = 0{,}05$	0,68	13,4	0,67
$t_2 = 0{,}10$	1,35		

$v_1 = 0{,}68\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $v_2 = 1{,}35\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

PIÈGE
Garder $a = 13{,}6$ pour le deuxième pas. L'accélération se recalcule à chaque date avec la nouvelle vitesse, et il faut penser au carré de v.

MÉTHODE
Euler, ligne par ligne : la vitesse donne l'accélération (équation différentielle), l'accélération donne Δv, et Δv donne la vitesse de la ligne suivante.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Donner l'expression littérale de la vitesse limite v_ℓ du ballon en fonction de A et B.

Quand la vitesse limite est atteinte, v ne varie plus : $\dfrac{dv}{dt} = 0$, donc $A\,v_\ell^2 + B = 0$.

$$v_\ell = \sqrt{-\frac{B}{A}}$$

COMPRENDRE
A est négatif, donc $-\dfrac{B}{A}$ est positif : la racine existe. Physiquement, le poids et le frottement compensent alors exactement la poussée d'Archimède.

1.3.2 Calculer cette vitesse limite.

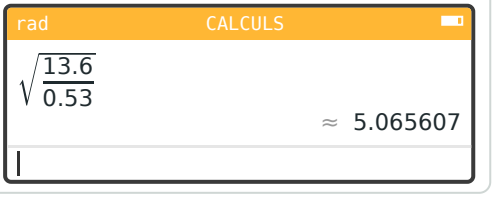
Données utiles $A = -0{,}53\ \text{m}^{-1}$; $B = 13{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$v_\ell = \sqrt{-\frac{13{,}6}{-0{,}53}} = 5{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v_\ell = 5{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme A, la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



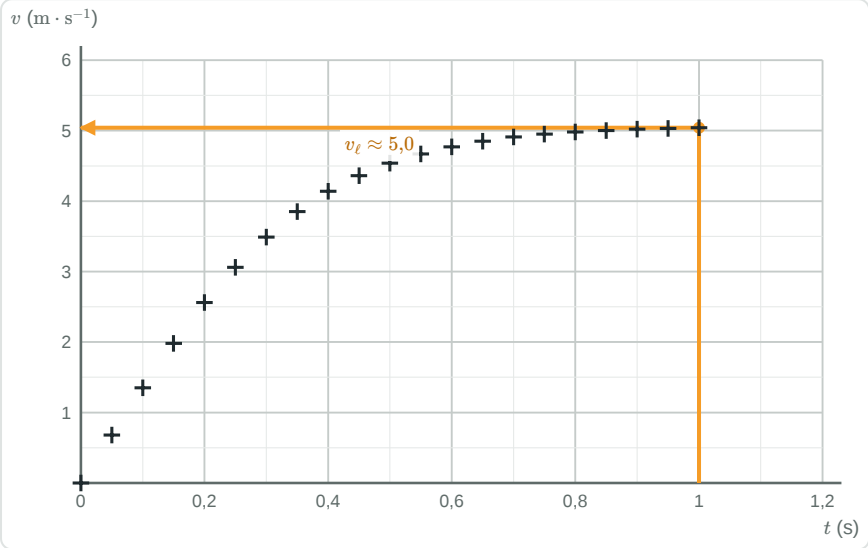
1.3.3 Comparer la vitesse limite calculée à la valeur lue sur le graphique obtenu par la méthode d'Euler.

Données utiles $v_\ell = 5{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.3.2)

Sur le graphique, les points se stabilisent à partir de $t \approx 0{,}9$ s sur un palier horizontal situé juste au-dessus de la graduation 5 : $v_\ell \approx 5{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La lecture graphique ($\approx 5{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) est très proche de la valeur calculée ($5{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) : les deux résultats sont cohérents.

COMPRENDRE
La vitesse limite se lit sur l'asymptote horizontale de la courbe. À $t = 1$ s le ballon n'y est pas tout à fait : la lecture donne une valeur un peu inférieure au calcul.



1.3.3 · Graphique du sujet (méthode d'Euler), avec la lecture du palier

2.1 En calculant l'écart relatif $\dfrac{\Delta g}{g}$ entre les altitudes 0 m et 9000 m, montrer que l'accélération de la pesanteur peut être considérée comme constante à moins de 1 % près.

Données utiles $g_0 = 9{,}8066\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $g_{9000} = 9{,}7789\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

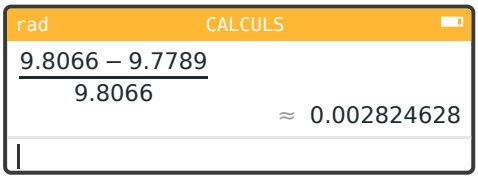
$$\frac{\Delta g}{g} = \left|\frac{g_{9000} - g_0}{g_0}\right| = \frac{|9{,}7789 - 9{,}8066|}{9{,}8066} = 2{,}8 \times 10^{-3}$$

g décroît régulièrement avec l'altitude : l'écart est le plus grand entre les deux valeurs extrêmes du tableau.

$\dfrac{\Delta g}{g} = 0{,}28\ \% < 1\ \%$: g peut être considérée comme constante entre 0 et 9000 m.

PIÈGE
Oublier la valeur absolue (résultat négatif) ou le passage en pourcentage : $2{,}8 \times 10^{-3}$, c'est $0{,}28\ \%$ et non $2{,}8\ \%$.

À LA CALCULATRICE



2.2 En considérant qualitativement l'évolution avec l'altitude de chaque paramètre de la poussée d'Archimède, choisir et justifier la bonne conclusion : F_A augmente, reste constante, diminue, ou on ne peut pas conclure.

$F_A = \rho V_b g$. Quand l'altitude augmente :

- g reste pratiquement constante (2.1) ;
- ρ diminue (tableau : de $1{,}22$ à $0{,}46\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) ;
- V_b augmente (phrase soulignée : le ballon grossit en montant).

Le produit ρV_b réunit un facteur qui diminue et un facteur qui augmente : sans connaître les valeurs de V_b, son sens de variation reste indéterminé.

Proposition **d** : on ne peut pas conclure.

PIÈGE
Répondre « F_A diminue » en ne regardant que la ligne ρ du tableau. Le volume du ballon n'est constant qu'à faible altitude (partie 1).