Corrigé complet — Bac 2023 Réunion Jour 2

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

Ex 1	**Mouvement d'une goutte d'encre dans une imprimante à jet d'encre** Capacité d'un condensateur plan · Champ électrostatique uniforme · Deuxième loi de Newton · Équations horaires et trajectoire · Principe d'inertie	11 pts	1 h 56	12 questions	p. 2
Ex 2	**L'acide butyrique** Taux d'avancement final · Acide faible · Constante d'acidité et $\mathrm{p}K_A$ · Synthèse d'un ester · Extraction par décantation · Spectroscopie infrarouge	5 pts	53 min	10 questions	p. 8
Ex 3	**Analyse d'un sol** Couleur et spectre d'absorption · Quotient de réaction et sens d'évolution · Dilution · Loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage spectrophotométrique	4 pts	48 min	8 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Mouvement d'une goutte d'encre dans une imprimante à jet d'encre

Bac 2023 Réunion Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

A.1 Donner l'unité de la capacité d'un condensateur dans le système international (SI).

La capacité C s'exprime en **farad**, de symbole F.

A.2 Montrer que les graphiques des figures 4 et 5 respectent la relation 1 : $C = k \times \dfrac{S}{d}$.

Données utiles figure 4 : $d = 5$ mm, coefficient directeur $a = 1{,}76 \times 10^{-9}$ SI ; figure 5 : $S = 200\ \text{mm}^2 = 2{,}00 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$, coefficient directeur $a' = 1{,}7 \times 10^{-15}$ SI

D'après la relation 1, C doit être proportionnelle à S quand d est fixée, et proportionnelle à $\dfrac{1}{d}$ quand S est fixée, avec la même constante k.

Figure 4 (d fixée). Les points sont alignés. Les axes ne partent pas de zéro, on teste donc le quotient $\dfrac{C}{S}$:

- $S = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$, $C = 1{,}8 \times 10^{-13}$ F : $\dfrac{C}{S} = 1{,}8 \times 10^{-9}$ SI ;
- $S = 2{,}5 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$, $C = 4{,}4 \times 10^{-13}$ F : $\dfrac{C}{S} = 1{,}8 \times 10^{-9}$ SI ;
- $S = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$, $C = 7{,}0 \times 10^{-13}$ F : $\dfrac{C}{S} = 1{,}8 \times 10^{-9}$ SI.

Le quotient est constant et égal au coefficient directeur : la droite passe par l'origine, $C = a \times S$ avec $a = \dfrac{k}{d}$.

$k = a \times d = 1{,}76 \times 10^{-9} \times 5 \times 10^{-3} = 8{,}8 \times 10^{-12}\ \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$

Figure 5 (S fixée). Les points sont alignés. On teste le produit $C \times d$, c'est-à-dire C divisée par $\dfrac{1}{d}$:

- $\dfrac{1}{d} = 100\ \text{m}^{-1}$, $C = 1{,}8 \times 10^{-13}$ F : $C \times d = 1{,}8 \times 10^{-15}$ SI ;
- $\dfrac{1}{d} = 250\ \text{m}^{-1}$, $C = 4{,}4 \times 10^{-13}$ F : $C \times d = 1{,}8 \times 10^{-15}$ SI ;
- $\dfrac{1}{d} = 500\ \text{m}^{-1}$, $C = 8{,}9 \times 10^{-13}$ F : $C \times d = 1{,}8 \times 10^{-15}$ SI.

Le produit est constant et proche du coefficient directeur indiqué : $C = a' \times \dfrac{1}{d}$ avec $a' = k \times S$.

$k = \dfrac{a'}{S} = \dfrac{1{,}7 \times 10^{-15}}{2{,}00 \times 10^{-4}} = 8{,}5 \times 10^{-12}\ \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$

Les deux valeurs de k s'accordent à moins de 4 % près, ce qui est compatible avec la précision des lectures.

C est proportionnelle à S et à $\dfrac{1}{d}$, avec la même constante $k \approx 9 \times 10^{-12}\ \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$: les deux graphiques respectent la relation 1.

PIÈGE
Écrire « c'est une droite, donc c'est proportionnel ». Les axes commencent à 1 et à 100 : l'origine n'est pas visible. Il faut prouver que la droite y passe, par un quotient constant ou une ordonnée à l'origine négligeable.

COMPRENDRE
Vérification croisée : pour $S = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$ et $d = 5$ mm (soit $\dfrac{1}{d} = 200\ \text{m}^{-1}$), les deux figures donnent la même capacité, $3{,}5 \times 10^{-13}$ F.

MÉTHODE
Tester une proportionnalité sans voir l'origine : calculer le quotient ordonnée/abscisse pour trois points éloignés. S'il est constant et égal au coefficient directeur, la droite passe par l'origine.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.8 \times 10^{-13}}{1.0 \times 10^{-4}} \approx 1.8 \times 10^{-9}$

$\dfrac{4.4 \times 10^{-13}}{2.5 \times 10^{-4}} \approx 1.76 \times 10^{-9}$

$\dfrac{7.0 \times 10^{-13}}{4.0 \times 10^{-4}} \approx 1.75 \times 10^{-9}$

$1.76 \times 10^{-9} \times 5 \times 10^{-3} \approx 8.8 \times 10^{-12}$

$\dfrac{4.4 \times 10^{-13}}{250} \approx 1.76 \times 10^{-15}$

$\dfrac{8.9 \times 10^{-13}}{500} \approx 1.78 \times 10^{-15}$

$\dfrac{1.7 \times 10^{-15}}{2.00 \times 10^{-4}} \approx 8.5 \times 10^{-12}$

B.1.1 Vérifier quantitativement que l'hypothèse de négliger le poids de la goutte devant la force électrostatique est justifiée.

Données utiles $V = 1{,}5 \times 10^{-14}$ m^3 ; $\rho = 9{,}5 \times 10^{2}$ kg · m^{-3} ; $g = 9{,}8$ m · s^{-2} ; $q = -2{,}0 \times 10^{-13}$ C ; $U = 3{,}0$ kV ; $d = 5{,}0$ mm ; $E = \dfrac{U}{d}$

Masse de la goutte : $m = \rho \times V = 9{,}5 \times 10^{2} \times 1{,}5 \times 10^{-14} = 1{,}4 \times 10^{-11}$ kg.

Poids : $P = m \times g = \rho \times V \times g$

$P = 9{,}5 \times 10^{2} \times 1{,}5 \times 10^{-14} \times 9{,}8 = 1{,}4 \times 10^{-10}$ N

Force électrostatique : $F_e = |q| \times E = \dfrac{|q| \times U}{d}$

$F_e = \dfrac{2{,}0 \times 10^{-13} \times 3{,}0 \times 10^{3}}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}2 \times 10^{-7}$ N

$\dfrac{F_e}{P} = \dfrac{1{,}2 \times 10^{-7}}{1{,}4 \times 10^{-10}} = 8{,}6 \times 10^{2}$: la force électrostatique est environ 900 fois plus grande que le poids, qui est donc négligeable.

PIÈGE
Oublier les conversions : $U = 3{,}0 \times 10^{3}$ V et $d = 5{,}0 \times 10^{-3}$ m. Une valeur de force est positive : on utilise $|q|$, pas q.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme toutes les données. « Quantitativement » demande un rapport chiffré : on néglige une grandeur devant une autre quand elle est au moins cent fois plus petite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$9.5 \times 10^{2} \times 1.5 \times 10^{-14} \approx 1.425 \times 10^{-11}$

$9.5 \times 10^{2} \times 1.5 \times 10^{-14} \times 9.8 \approx 1.3965 \times 10^{-10}$

$\dfrac{2.0 \times 10^{-13} \times 3.0 \times 10^{3}}{5.0 \times 10^{-3}} \approx 1.2 \times 10^{-7}$

$\dfrac{1.2 \times 10^{-7}}{1.3965 \times 10^{-10}} \approx 859.2911$

B.1.2 Compléter le schéma de l'annexe en représentant, sans souci d'échelle, le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\overrightarrow{F_e}$ subie par la goutte au point M. Justifier l'orientation de chaque vecteur.

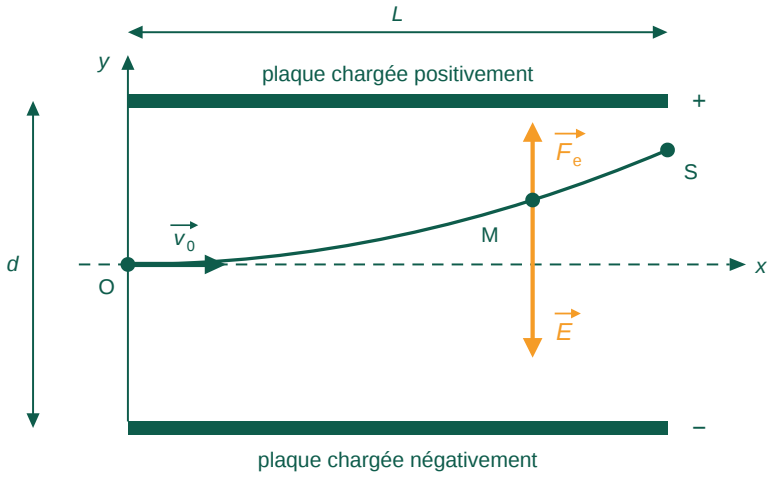
Champ $\vec{E}$: dans un condensateur plan, il est perpendiculaire aux armatures et orienté de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement. Ici il est vertical, dirigé vers le bas.

Force $\overrightarrow{F_e}$: $\overrightarrow{F_e} = q \times \vec{E}$ avec $q < 0$, donc la force est de sens opposé au champ. Elle est verticale, dirigée vers le haut, vers la plaque positive.

$\vec{E}$ vertical vers le bas (de la plaque + vers la plaque −) ; $\overrightarrow{F_e}$ verticale vers le haut, car $q < 0$.

PIÈGE
Tracer la force tangente à la trajectoire. Elle est verticale en tout point, car le champ est uniforme : même direction, même sens, même valeur partout entre les plaques.

COMPRENDRE
Contrôle de cohérence : la goutte, négative, est attirée par la plaque positive, et la trajectoire de la figure 6 se courbe bien vers le haut, dans le sens de la force.



B.1.2 · Annexe complétée : champ et force au point M (tracés de l'élève en orange)

B.1.3 Déterminer la valeur de la capacité C du condensateur plan de charge q_C soumis à la tension électrique U.

Données utiles $q_C = 1{,}0$ nC ; $U = 3{,}0$ kV

La charge d'un condensateur est proportionnelle à la tension à ses bornes : $q_C = C \times U$, donc $C = \dfrac{q_C}{U}$.

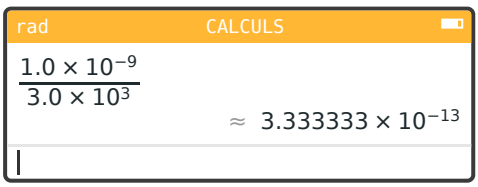
$$C = \frac{1{,}0 \times 10^{-9}}{3{,}0 \times 10^{3}}$$

$C = 3{,}3 \times 10^{-13}$ F

PIÈGE
Deux conversions : $1\ \text{nC} = 10^{-9}$ C et $1\ \text{kV} = 10^{3}$ V. Ne pas confondre la charge q_C du condensateur avec la charge q de la goutte.

COMPRENDRE
Cette valeur est du même ordre de grandeur que celles des figures 4 et 5 (quelques 10^{-13} F), ce qui confirme sa vraisemblance.

À LA CALCULATRICE



B.1.4.1 Établir les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de la goutte d'encre.

Système {goutte d'encre}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen ; seule force prise en compte : $\overrightarrow{F_e} = q\,\vec{E}$ (poids et frottements négligés).

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

Le champ est vertical vers le bas : $\vec{E} = -E\,\vec{j} = -\dfrac{U}{d}\,\vec{j}$. D'où

$$a_x = 0 \qquad a_y = -\frac{q\,U}{m\,d}$$

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x = k_1$ et $v_y = -\dfrac{q\,U}{m\,d}\,t + k_2$.

À $t = 0$, $\vec{v}_0 = v_0\,\vec{i}$, donc $k_1 = v_0$ et $k_2 = 0$:

$$v_x = v_0 \qquad v_y = -\frac{q\,U}{m\,d}\,t$$

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$, on cherche de nouveau les primitives : $x = v_0\,t + k_3$ et $y = -\dfrac{q\,U}{2\,m\,d}\,t^2 + k_4$.

À $t = 0$, la goutte est en O : $k_3 = 0$ et $k_4 = 0$.

$$x(t) = v_0\,t \qquad y(t) = -\frac{q\,U}{2\,m\,d}\,t^2$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » dans a_y. Le champ est dirigé selon $-\vec{j}$; comme $q < 0$, on a bien $a_y > 0$: la goutte est accélérée vers le haut.

MÉTHODE
Toujours la même démarche : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection, puis deux recherches de primitives. Chaque constante se détermine avec les conditions initiales (vitesse, puis position).

B.1.4.2 En déduire l'équation de la trajectoire de la goutte dans le condensateur, que le sujet écrit $y(x) = \dfrac{q \times U}{2 \times m \times d \times v_0^2} \times x^2$.

On isole le temps dans $x(t) = v_0\,t$: $t = \dfrac{x}{v_0}$.

On remplace dans $y(t)$:

$$y = -\frac{q\,U}{2\,m\,d} \times \left(\frac{x}{v_0}\right)^2$$

La trajectoire est une portion de parabole. On retrouve l'expression de l'énoncé au signe près : le sujet a omis le signe « $-$ ».

$$y(x) = -\frac{q \times U}{2 \times m \times d \times v_0^2} \times x^2$$ (expression attendue, avec un signe « $-$ » qui manque dans le sujet)

PIÈGE
Ne pas modifier son calcul pour retrouver à tout prix la formule imprimée. On garde son résultat, et on signale l'écart en une phrase justifiée.

COMPRENDRE
Le signe « $-$ » est nécessaire : avec $q < 0$, l'expression du sujet donnerait $y < 0$, soit une goutte déviée vers le bas, contrairement à la figure 6. La formule de Y donnée en B.2.2.2 porte d'ailleurs bien ce signe.

B.1.4.3 Donner l'expression de l'ordonnée y_S de la goutte à la sortie S du condensateur.

Au point S, la goutte a parcouru toute la longueur des armatures : $x_S = L$. On remplace x par L dans l'équation de la trajectoire.

$$y_S = -\frac{q \times U \times L^2}{2 \times m \times d \times v_0^2}$$

COMPRENDRE
Aucune valeur n'est demandée. Le calcul donne $y_S \approx 1{,}9$ mm, inférieur à $\dfrac{d}{2} = 2{,}5$ mm : la goutte sort du condensateur sans toucher la plaque supérieure.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.0\times10^{-13}\times3.0\times10^{3}\times(20\times10^{-3})^{2}}{2\times1.425\times10^{-11}\times5.0\times10^{-3}\times30^{2}} \approx 0.001871345$$

B.2.1 Justifier que la goutte suit un mouvement rectiligne uniforme entre le condensateur plan et la feuille.

Après la sortie du condensateur, la goutte n'est soumise à aucune force (poids négligé) : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$.

D'après le principe d'inertie (première loi de Newton), dans le référentiel terrestre supposé galiléen, le vecteur vitesse de la goutte est alors constant.

$\vec{v}$ est constant en direction, en sens et en valeur : le mouvement est **rectiligne uniforme**.

COMPRENDRE
La goutte garde le vecteur vitesse qu'elle avait en S. Elle part donc en ligne droite selon la tangente à la parabole en S, inclinée de l'angle α sur l'axe (Ox).

B.2.2.1 Exprimer $\tan\alpha$ en fonction de O'Y et O'I d'une part, et en fonction de SH et HI d'autre part.

Dans le triangle IO'Y, rectangle en O' : $\tan\alpha = \dfrac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \dfrac{\text{O'Y}}{\text{O'I}}$.

Dans le triangle IHS, rectangle en H, l'angle en I est le même : $\tan\alpha = \dfrac{\text{SH}}{\text{HI}}$.

$$\tan\alpha = \frac{\text{O'Y}}{\text{O'I}} = \frac{\text{SH}}{\text{HI}}$$

COMPRENDRE
Les points I, S et Y sont alignés, car la goutte va en ligne droite après S. Les deux triangles rectangles ont donc le même angle α au sommet I.

B.2.2.2 En déduire que l'ordonnée Y du point d'impact de la goutte sur la feuille a pour expression $Y = -\dfrac{q\times U\times L}{m\times d\times v_0^2}\times\left(\dfrac{L}{2}+D\right)$.

Données utiles y_S (B.1.4.3) ; I milieu de [OH]

On lit les longueurs sur la figure 7 :

- $\text{O'Y} = Y$ et $\text{SH} = y_S$;
- I est le milieu de [OH] et $\text{OH} = L$, donc $\text{HI} = \dfrac{L}{2}$;
- $\text{O'I} = \text{IH} + \text{HO'} = \dfrac{L}{2} + D$.

L'égalité de B.2.2.1 donne $\dfrac{Y}{\frac{L}{2}+D} = \dfrac{y_S}{\frac{L}{2}}$, donc $Y = \dfrac{2\,y_S}{L}\times\left(\dfrac{L}{2}+D\right)$.

Avec $y_S = -\dfrac{q\,U\,L^2}{2\,m\,d\,v_0^2}$: $\dfrac{2\,y_S}{L} = -\dfrac{q\,U\,L}{m\,d\,v_0^2}$

$$Y = -\frac{q\times U\times L}{m\times d\times v_0^2}\times\left(\frac{L}{2}+D\right)$$: c'est l'expression attendue.

MÉTHODE
Pour un « en déduire », partir du résultat précédent, traduire chaque longueur de la figure par une grandeur de l'énoncé, puis isoler l'inconnue avant de remplacer y_S par son expression.

B.2.2.3 Déterminer dans quelle zone de la feuille (zone 1, 2 ou 3 de la figure 8) la goutte va se déposer.

Données utiles $m = \rho \times V = 1{,}425 \times 10^{-11}$ kg (B.1.1) ; $q = -2{,}0 \times 10^{-13}$ C ; $U = 3{,}0$ kV ; $L = 20$ mm ; $D = 10$ mm ; $d = 5{,}0$ mm ; $v_0 = 30\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; hauteur de la feuille : 29,7 cm

$$Y = -\frac{qUL}{mdv_0^2} \times \left(\frac{L}{2} + D\right)$$

Avec $\frac{L}{2} + D = 10 + 10 = 20\ \text{mm} = 2{,}0 \times 10^{-2}$ m :

$$Y = -\frac{-2{,}0 \times 10^{-13} \times 3{,}0 \times 10^{3} \times 20 \times 10^{-3}}{1{,}425 \times 10^{-11} \times 5{,}0 \times 10^{-3} \times 30^2} \times 2{,}0 \times 10^{-2}$$

$Y = 3{,}7 \times 10^{-3}$ m, soit 3,7 mm au-dessus du centre O' de la feuille.

Les trois zones ont la même hauteur : $\frac{29{,}7}{3} = 9{,}90$ cm. La zone 2, centrée sur O', s'étend de $-4{,}95$ cm à $+4{,}95$ cm.

$Y = 0{,}37$ cm, compris entre $-4{,}95$ cm et $+4{,}95$ cm : la goutte se dépose dans la **zone 2**.

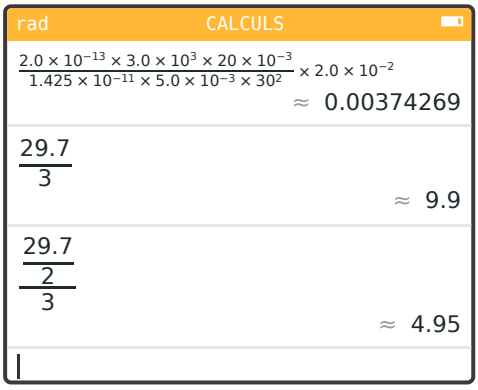
PIÈGE

Toutes les longueurs en mètres (L, D, d), la tension en volts, et la masse non arrondie ($1{,}425 \times 10^{-11}$ kg). Les deux signes « $-$ » (celui de la formule et celui de q) donnent bien $Y > 0$.

COMPRENDRE

La limite de la zone 2 n'est pas à 9,90 cm de O' mais à la moitié, 4,95 cm, car O' est au centre de la feuille, donc au milieu de la zone 2.

À LA CALCULATRICE



L'acide butyrique

Bac 2023 Réunion Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1 Donner l'expression du taux d'avancement final τ en fonction de l'avancement final x_f et de l'avancement maximal x_{max}.

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

COMPRENDRE
τ est sans unité, compris entre 0 et 1 : il vaut 1 pour une transformation totale, moins de 1 si elle est limitée.

A.2 Exprimer l'avancement maximal x_{max} en fonction de C et V.

L'eau est le solvant, en large excès : le réactif limitant est l'acide AH. Si la transformation était totale, il disparaîtrait entièrement : $n_i(\mathrm{AH}) - x_{max} = 0$, avec $n_i(\mathrm{AH}) = C \times V$.

$$x_{max} = C \times V$$

A.3 Exprimer la valeur de l'avancement final x_f en fonction du pH et de V.

Données utiles $\mathrm{pH} = 4{,}5$; $V = 100$ mL ; $c^\circ = 1$ mol·L^{-1}

D'après l'équation, il se forme autant d'ions oxonium que l'avancement : $n_f(\mathrm{H_3O^+}) = x_f$, donc $x_f = [\mathrm{H_3O^+}]_f \times V$.
Or $[\mathrm{H_3O^+}]_f = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$, avec $c^\circ = 1$ mol·L^{-1}.

$$x_f = 10^{-\mathrm{pH}} \times V \text{ (concentration en mol·L}^{-1}\text{, } V \text{ en L)}$$

PIÈGE
Écrire $x_f = 10^{-\mathrm{pH}}$: c'est une concentration, pas une quantité de matière. Il faut multiplier par le volume, exprimé en litre.

A.4 Calculer le taux d'avancement final τ et justifier que l'acide butyrique est un acide faible.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1} ; $\mathrm{pH} = 4{,}5$; x_{max} (A.2) ; x_f (A.3)

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{10^{-\mathrm{pH}} \times V}{C \times V} = \frac{10^{-\mathrm{pH}}}{C}$$

$$\tau = \frac{10^{-4{,}5}}{1{,}0 \times 10^{-4}} = 0{,}32$$

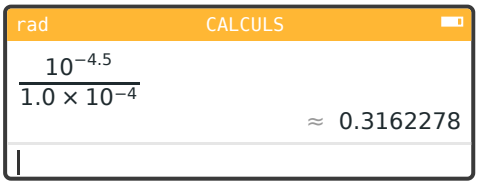
$\tau < 1$: la réaction de l'acide butyrique avec l'eau n'est pas totale, c'est donc un acide faible.

$\tau = 0{,}32$, soit 32 % : l'acide butyrique est un acide faible.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C. Le volume se simplifie : τ ne dépend ici que du pH et de la concentration apportée.

MÉTHODE
Acide fort ou faible : comparer τ à 1, ou, ce qui revient au même, comparer le pH mesuré à $-\log(C/c^\circ)$ (ici 4,0). Un pH plus grand signale un acide faible.

À LA CALCULATRICE



A.5.1 Exprimer la constante d'acidité K_A de la réaction en fonction de τ et C.

Données utiles $[\mathrm{AH}]_{eq} = C \times (1-\tau)$; $[\mathrm{A^-}]_{eq} = C \times \tau$

$$K_A = \frac{[\mathrm{A^-}]_{eq} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{eq}}{[\mathrm{AH}]_{eq} \times c^\circ}$$

La réaction forme autant d'ions $\mathrm{A^-}$ que d'ions $\mathrm{H_3O^+}$: $[\mathrm{H_3O^+}]_{eq} = [\mathrm{A^-}]_{eq} = C \times \tau$.

$$K_A = \frac{(C \times \tau)^2}{C \times (1-\tau) \times c^\circ}$$

$$\boxed{K_A = \frac{C \times \tau^2}{(1-\tau) \times c^\circ} \text{ avec } c^\circ = 1 \text{ mol·L}^{-1}}$$

PIÈGE
Faire figurer l'eau dans K_A : c'est le solvant, elle n'apparaît pas. Ne pas oublier non plus le carré sur τ après simplification par C.

A.5.2 En déduire la valeur du $\mathrm{p}K_A$ de l'acide butyrique.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1} ; $\tau = 0{,}316$ (A.4, valeur non arrondie) ; K_A (A.5.1)

$$\mathrm{p}K_A = -\log K_A = -\log\left(\frac{C \times \tau^2}{(1-\tau) \times c^\circ}\right)$$

$$K_A = \frac{1{,}0 \times 10^{-4} \times 0{,}316^2}{1 - 0{,}316} = 1{,}5 \times 10^{-5}$$

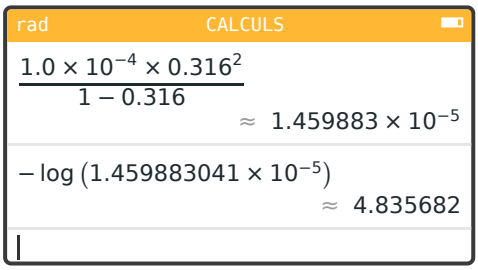
$$\mathrm{p}K_A = -\log(1{,}5 \times 10^{-5}) = 4{,}8$$

$$\boxed{\mathrm{p}K_A = 4{,}8}$$

PIÈGE
Reprendre $\tau = 0{,}32$ arrondi pour la suite : on garde un chiffre de plus dans les calculs intermédiaires et on n'arrondit qu'à la fin.

COMPRENDRE
Vérification : $\mathrm{pH} = 4{,}5 < \mathrm{p}K_A = 4{,}8$, la forme acide AH prédomine, ce qui est cohérent avec $\tau < 0{,}5$.

À LA CALCULATRICE

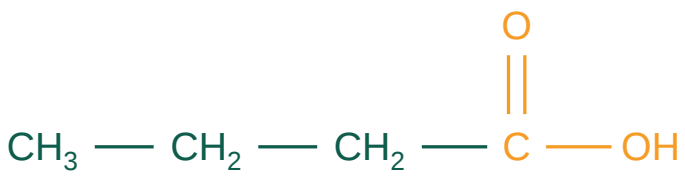


B.1 Donner la formule semi-développée de l'acide butyrique.

La formule topologique montre une chaîne de quatre atomes de carbone terminée par le groupe carboxyle.

$\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-COOH}$, la double liaison C=O étant détaillée sur le schéma.

MÉTHODE
Dans une formule topologique, chaque sommet et chaque extrémité de ligne brisée est un carbone, complété par des H jusqu'à quatre liaisons. On vérifie avec la formule brute : $\mathrm{C_4H_8O_2}$.



B.1 · Formule semi-développée de l'acide butyrique (acide butanoïque) ; en orange, le groupe carboxyle

B.2 Préciser la phase dans laquelle se trouve le butanoate de méthyle.

Données utiles solubilité de l'ester dans l'eau salée : très faible

Le butanoate de méthyle est très peu soluble dans l'eau salée : il ne passe pas dans la phase aqueuse.

Le butanoate de méthyle se trouve dans la phase organique.

COMPRENDRE
Le méthanol et l'acide butyrique restants sont, eux, solubles dans l'eau salée : ils rejoignent la phase aqueuse. C'est l'intérêt de ce lavage.

B.3 Schématiser l'ampoule à décanter après décantation. Justifier la position des deux phases.

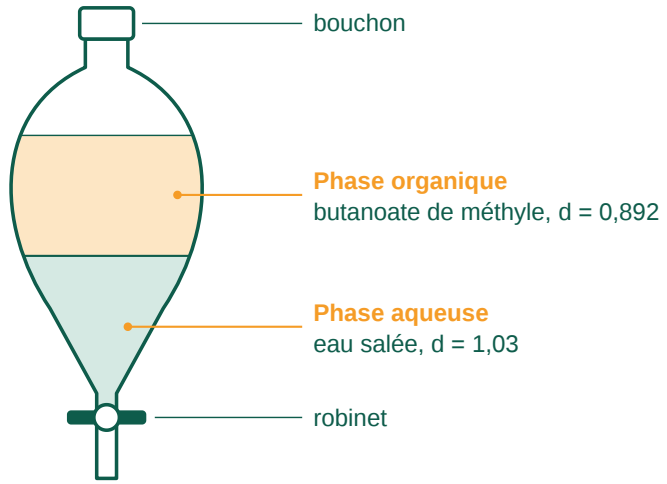
Données utiles densité du butanoate de méthyle : 0,892 ; densité de l'eau salée : 1,03

La phase organique est constituée essentiellement de l'ester, de densité 0,892. La phase aqueuse est de l'eau salée, de densité 1,03.

$0{,}892 < 1{,}03$: la phase la moins dense surnage.

Phase organique (ester) au-dessus, phase aqueuse (eau salée) en dessous.

PIÈGE
Un schéma sans légende ne rapporte rien : nommer chaque phase et justifier par la comparaison des deux densités, valeurs à l'appui.



B.3 · Ampoule à décanter après décantation

B.4 Attribuer un groupe d'atomes à chacun des pics entre 1600 cm^{-1} et 4000 cm^{-1}. Indiquer si ce spectre IR est compatible avec le produit attendu.

Données utiles table IR : ester, $C{=}O$ entre 1730 et 1750 cm^{-1}, liaison notée $C_{tri}{-}H$ entre 2700 et 3000 cm^{-1} ; acide carboxylique, $O{-}H$ entre 2500 et 3200 cm^{-1} ; alcool, $O{-}H$ lié entre 3200 et 3450 cm^{-1}

- Bande intense vers 1740 cm^{-1} : liaison $C{=}O$ d'un ester (1730 – 1750 cm^{-1}).
- Bande vers 2950 – 3000 cm^{-1} : liaisons $C{-}H$ (intervalle 2700 – 3000 cm^{-1} de la table).
- Aucune bande large et intense entre 2500 et 3450 cm^{-1} : pas de liaison $O{-}H$, donc ni acide carboxylique ni alcool.

La table attribue cette deuxième bande à une liaison $C_{tri}{-}H$: c'est une erreur du sujet, il s'agit des liaisons $C{-}H$ des carbones tétragonaux.

Le spectre est compatible avec le butanoate de méthyle : $C{=}O$ d'ester présent, pas de bande $O{-}H$.

COMPRENDRE
Dans le butanoate de méthyle, le seul carbone trigonal est celui du groupe $C{=}O$ et il ne porte aucun hydrogène. Les liaisons $C{-}H$ sont celles des groupes CH_3 et CH_2.

MÉTHODE
Pour valider une synthèse par IR : repérer la bande du produit, puis vérifier la disparition des bandes des réactifs. Ici, l'absence de bande $O{-}H$ montre que l'ester ne contient plus d'acide ni de méthanol.

Analyse d'un sol

Bac 2023 Réunion Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 48 min**

A.1 Déterminer, en justifiant, la couleur d'une solution contenant des ions thiocyanatofer (III) $[FeSCN]^{2+}(aq)$.

Données utiles spectre d'absorption des ions $[FeSCN]^{2+}$; cercle chromatique

Sur le spectre, l'absorbance est maximale pour $\lambda_{max} \approx 460$ nm : la solution absorbe surtout les radiations violettes et bleu-violet (450 à 480 nm sur le cercle chromatique).

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, c'est-à-dire celle qui lui est diamétralement opposée sur le cercle chromatique.

La solution est **jaune** à **jaune orangé**.

PIÈGE
Répondre « violet » : c'est la couleur absorbée. Une solution a la couleur des radiations qu'elle laisse passer, pas de celles qu'elle absorbe.

MÉTHODE
Trois étapes : lire λ_{max} sur le spectre, nommer la couleur absorbée, prendre la couleur opposée sur le cercle chromatique.

A.2.1 Exprimer puis calculer le quotient réactionnel initial $Q_{r,0}$.

Données utiles $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons [FeSCN]^{2+}(aq)$; $n_1 = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol ; $n_2 = 5{,}0 \times 10^{-4}$ mol ; $V = 500{,}0$ mL

Avec $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$Q_{r,0} = \frac{\dfrac{[[FeSCN]^{2+}]_0}{c^\circ}}{\dfrac{[Fe^{3+}]_0}{c^\circ} \times \dfrac{[SCN^-]_0}{c^\circ}} = \frac{[[FeSCN]^{2+}]_0 \times c^\circ}{[Fe^{3+}]_0 \times [SCN^-]_0}$$

À l'état initial, seuls les réactifs ont été introduits : $[[FeSCN]^{2+}]_0 = 0$, alors que $[Fe^{3+}]_0$ et $[SCN^-]_0$ ne sont pas nulles.

$Q_{r,0} = 0$

PIÈGE
Inverser le quotient : les produits sont au numérateur, les réactifs au dénominateur. Q_r est sans unité.

COMPRENDRE
Le numérateur est nul et le dénominateur ne l'est pas : inutile de calculer $[Fe^{3+}]_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[SCN^-]_0 = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

A.2.2 En déduire le sens d'évolution spontané de la transformation.

Données utiles $K = 130$ à 25 °C ; $Q_{r,0} = 0$ (A.2.1)

$Q_{r,0} = 0 < K = 130$: le quotient de réaction doit augmenter jusqu'à atteindre K.

Le système évolue spontanément dans le **sens direct**, celui de la formation des ions $[FeSCN]^{2+}$.

MÉTHODE
Comparer Q_r à K : $Q_r < K$, sens direct ; $Q_r > K$, sens inverse ; $Q_r = K$, équilibre atteint.

B.1.1 Préciser, en justifiant, la longueur d'onde à laquelle régler le spectrophotomètre pour réaliser les mesures d'absorbance.

Données utiles spectre d'absorption des ions $[FeSCN]^{2+}$

On règle le spectrophotomètre sur la longueur d'onde du maximum d'absorption de l'espèce dosée, ici les ions $[FeSCN]^{2+}$. Les absorbances mesurées sont alors les plus grandes possibles, ce qui rend les mesures plus sensibles et plus précises.

$\lambda = \lambda_{max} \approx 460$ nm

COMPRENDRE
Au maximum du spectre, l'incertitude relative sur A est la plus faible, et un léger décalage de réglage en longueur d'onde modifie peu la valeur mesurée.

B.1.2 Dresser, en justifiant, la liste du matériel nécessaire à la réalisation de la solution étalon 5 à partir de la solution mère S_m.

Données utiles $c_m = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $c_f = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_f = 50{,}0\ \text{mL}$

Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve : $c_m \times V_i = c_f \times V_f$.

$$V_i = \frac{c_f \times V_f}{c_m} = \frac{2{,}0 \times 10^{-4} \times 50{,}0}{2{,}0 \times 10^{-3}} = 5{,}0\ \text{mL}$$

Matériel :

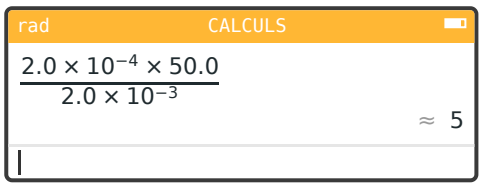
- un bécher, pour y verser un peu de solution mère (on ne pipette pas dans le flacon) ;
- une pipette jaugée de 5,0 mL et sa propipette, pour prélever V_i avec précision ;
- une fiole jaugée de 50,0 mL avec bouchon, pour fixer V_f et homogénéiser ;
- une pipette graduée (ou deux pipettes jaugées de 1 mL), pour l'acide chlorhydrique et le thiocyanate de potassium ;
- une pissette d'eau distillée, pour compléter jusqu'au trait de jauge ;
- gants et lunettes (acide concentré).

$V_i = 5{,}0$ mL : pipette jaugée de 5,0 mL et fiole jaugée de 50,0 mL

PIÈGE
Proposer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer V_i ou V_f : seule la verrerie jaugée donne une concentration précise.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_m et c_f. La solution est diluée dix fois : le volume prélevé est le dixième du volume de la fiole.

À LA CALCULATRICE



B.1.3.1 Donner l'expression de la loi de Beer-Lambert en définissant chaque terme et en donnant leur unité.

$A = \varepsilon \times \ell \times c$

- A : absorbance de la solution, sans unité ;
- ε : coefficient d'absorption molaire de l'espèce colorée, en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$;
- ℓ : longueur de solution traversée par la lumière (largeur de la cuve), en cm ;
- c : concentration en quantité de matière de l'espèce colorée, en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

COMPRENDRE
À longueur d'onde et cuve fixées, on écrit aussi $A = k \times c$ avec $k = \varepsilon \times \ell$ en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$: c'est le coefficient directeur indiqué sur la figure 1.

B.1.3.2 Indiquer si cette loi est vérifiée dans le cas étudié.

Données utiles figure 1 (courbe d'étalonnage)

Sur la figure 1, les points expérimentaux sont alignés sur une droite qui passe par l'origine : l'absorbance A est proportionnelle à la concentration c_f.

La loi de Beer-Lambert est **vérifiée** dans ce domaine de concentrations.

PIÈGE
Écrire seulement « c'est une droite ». La proportionnalité exige une droite qui passe par l'origine.

B.2 Déterminer la masse d'ions $\mathrm{Fe^{3+}(aq)}$ contenue dans un litre d'eau de la nappe phréatique.

Données utiles $A = 0{,}70$; $k = 5079\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$ (figure 1) ; $V_0 = 25{,}0$ mL ; $V_S = 50{,}0$ mL ; $M(\mathrm{Fe}) = 55{,}8\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Concentration dans la solution S. S est préparée et mesurée comme les solutions étalons : la droite d'étalonnage $A = k \times c_f$ donne la concentration c_S en ions fer (III) apportés dans S.

$$c_S = \frac{A}{k} = \frac{0{,}70}{5079} = 1{,}38 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

La lecture graphique confirme cette valeur.

Concentration dans l'eau de la nappe. Les ions fer (III) de S proviennent tous du volume V_0 d'eau, dilué jusqu'à V_S : $c_{eau} \times V_0 = c_S \times V_S$.

$$c_{eau} = \frac{c_S \times V_S}{V_0} = \frac{1{,}38 \times 10^{-4} \times 50{,}0}{25{,}0} = 2{,}76 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

Masse dans un litre. Avec $V = 1{,}0$ L :

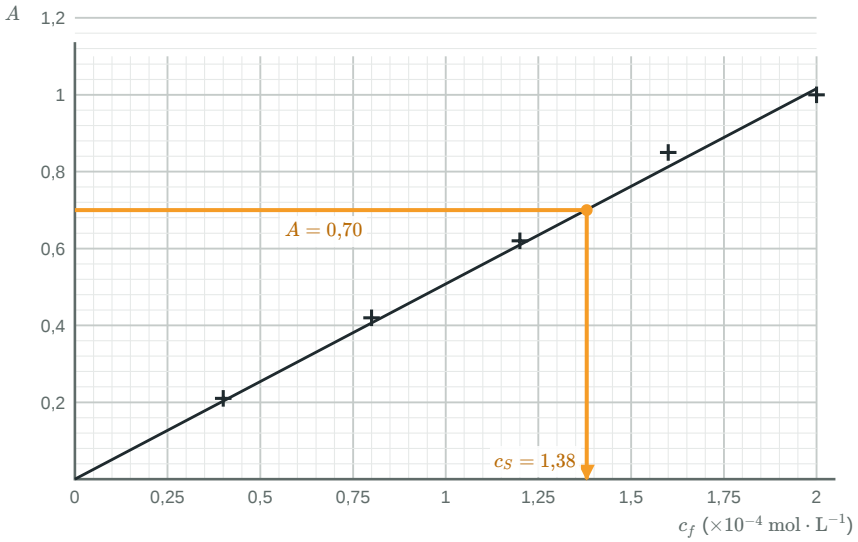
$$m = c_{eau} \times V \times M(\mathrm{Fe}) = 2{,}76 \times 10^{-4} \times 1{,}0 \times 55{,}8 = 1{,}5 \times 10^{-2}\ \mathrm{g}$$

Un litre d'eau de la nappe contient $m = 1{,}5 \times 10^{-2}$ g, soit 15 mg d'ions $\mathrm{Fe^{3+}}$.

PIÈGE
Oublier la dilution : S ne contient que 25,0 mL d'eau de la nappe pour 50,0 mL de solution. La concentration dans l'eau est le double de c_S.

COMPRENDRE
Les ions $\mathrm{SCN^-}$ sont en très large excès : presque tous les ions $\mathrm{Fe^{3+}}$ sont transformés en $[\mathrm{FeSCN}]^{2+}$. Résultat à deux chiffres significatifs, comme A ; les calculs intermédiaires en gardent trois.

MÉTHODE
Dosage par étalonnage : 1) concentration dans la solution mesurée, par la droite ; 2) remontée à l'échantillon par le facteur de dilution ; 3) passage à la masse avec $m = n \times M$.



B.2 · Figure 1 du sujet, avec la lecture pour la solution S

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.70}{5079} \approx 1.378224 \times 10^{-4}$

$\frac{\frac{0.70}{5079} \times 50.0}{25.0} \approx 2.756448 \times 10^{-4}$

$\frac{\frac{0.70}{5079} \times 50.0}{25.0} \times 55.8 \approx 0.01538098$