Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2023

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 2

Durée de l'épreuve : 3h30

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13 avec 3 exercices indépendants.

L'« ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE » (page 13/13) est à rendre <u>impérativement</u> avec la copie, même non complétée.

Le candidat traite les 3 exercices.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.

EXERCICE I - MOUVEMENT D'UNE GOUTTE D'ENCRE DANS UNE IMPRIMANTE À JET D'ENCRE (11 points)

Développée dans les années 1970, la technique du jet d'encre continu est un procédé d'impression sans contact qui utilise la projection de gouttes d'encre liquide.

Immédiatement après avoir quitté la buse, les gouttes d'encre sont électrisées de manière contrôlée (**figure 1**). Elles passent ensuite entre les armatures d'un condensateur plan où règne un champ électrostatique. Les gouttes sont alors plus ou moins déviées vers le haut pour atteindre la feuille d'impression.

Les gouttes ne correspondant à aucun caractère imprimable ne sont pas électrisées si bien qu'elles ne subissent pas de déviation ; elles se dirigent alors vers le récupérateur et sont renvoyées vers les cartouches.

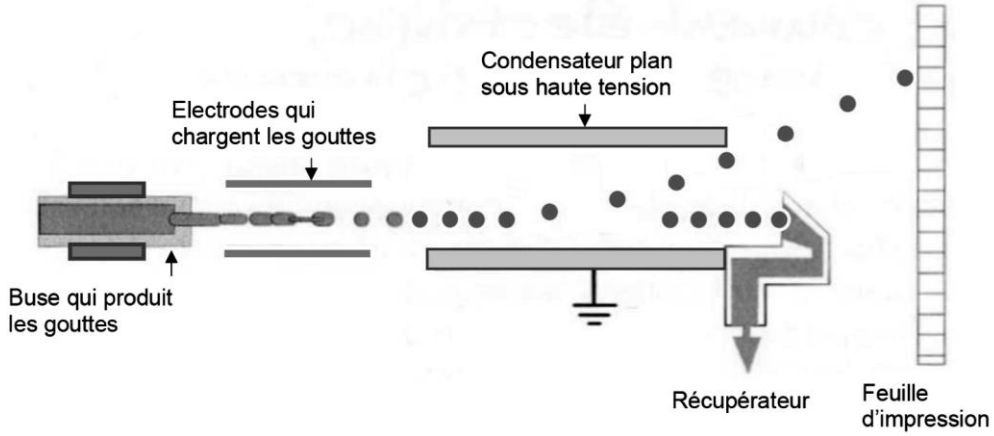


Figure 1 : Fonctionnement d'une imprimante à jet d'encre continu

Source : d'après « Vous avez dit physique ? » – K. Fadel – Dunod

PARTIE A : Modèle du condensateur plan

Un condensateur plan, de capacité C, est constitué de deux armatures conductrices, de surfaces S identiques, planes en regard, parallèles entre elles. Elles sont séparées d'une distance d par un matériau diélectrique (**figure 2**).

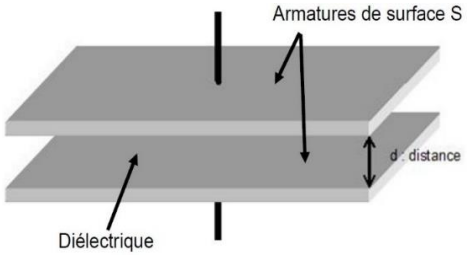


Figure 2 : Modèle du condensateur plan

La capacité C dépend des caractéristiques du condensateur et on souhaite tester si elle respecte une relation de la forme

$$C = k \times \frac{S}{d} \qquad \text{(relation 1)}$$

où k est une constante.

Pour ce faire, on réalise un montage électrique dans lequel un condensateur plan de capacité variable est soumis à une tension continue $U = 1{,}50$ V (**figure 3**).

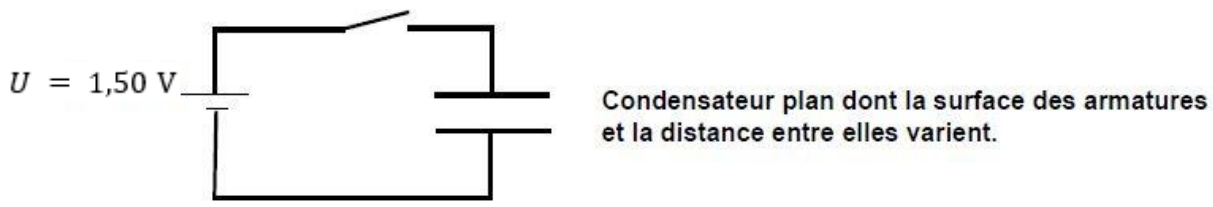


Figure 3 : Schéma du circuit électrique réalisé

Au cours d'une première série de mesures, la distance entre les armatures est fixée à $d = 5\ \text{mm}$. En faisant varier la surface S des armatures, on mesure la capacité C du condensateur. Grâce aux mesures réalisées, on trace le graphe de la **figure 4**.

Une seconde série de mesures permet d'obtenir le graphe présenté en **figure 5** : on mesure la capacité C du condensateur en faisant varier la distance d entre les armatures, leur surface S étant fixée à $S = 200\ \text{mm}^2$.

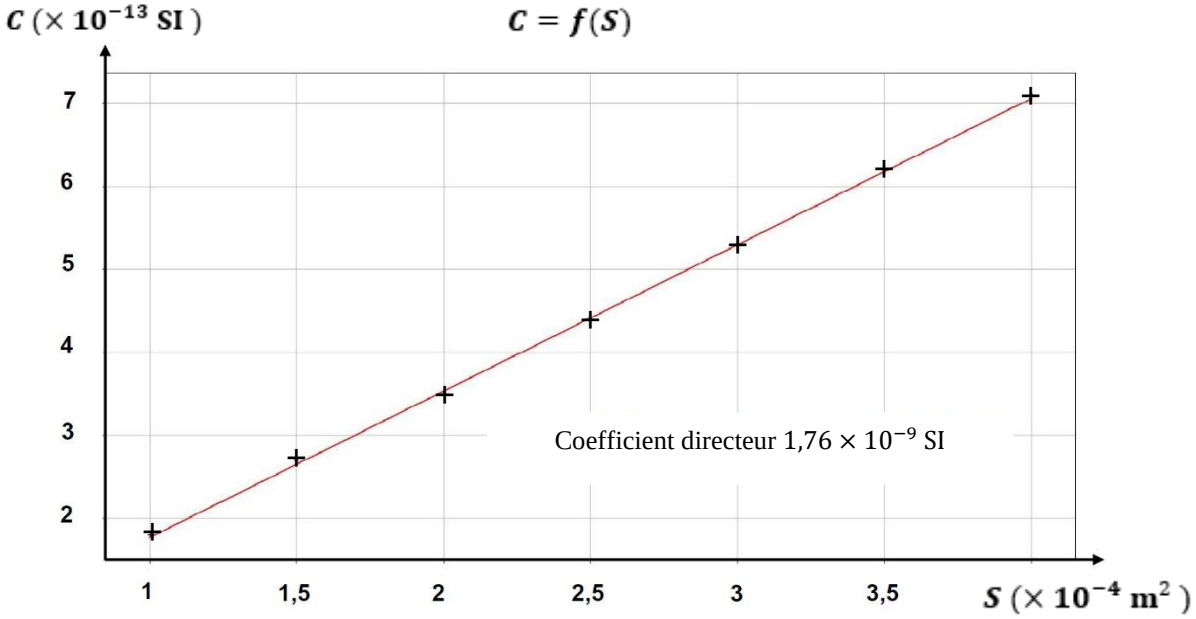


Figure 4 : Évolution de la capacité du condensateur plan en fonction de la surface de ses armatures

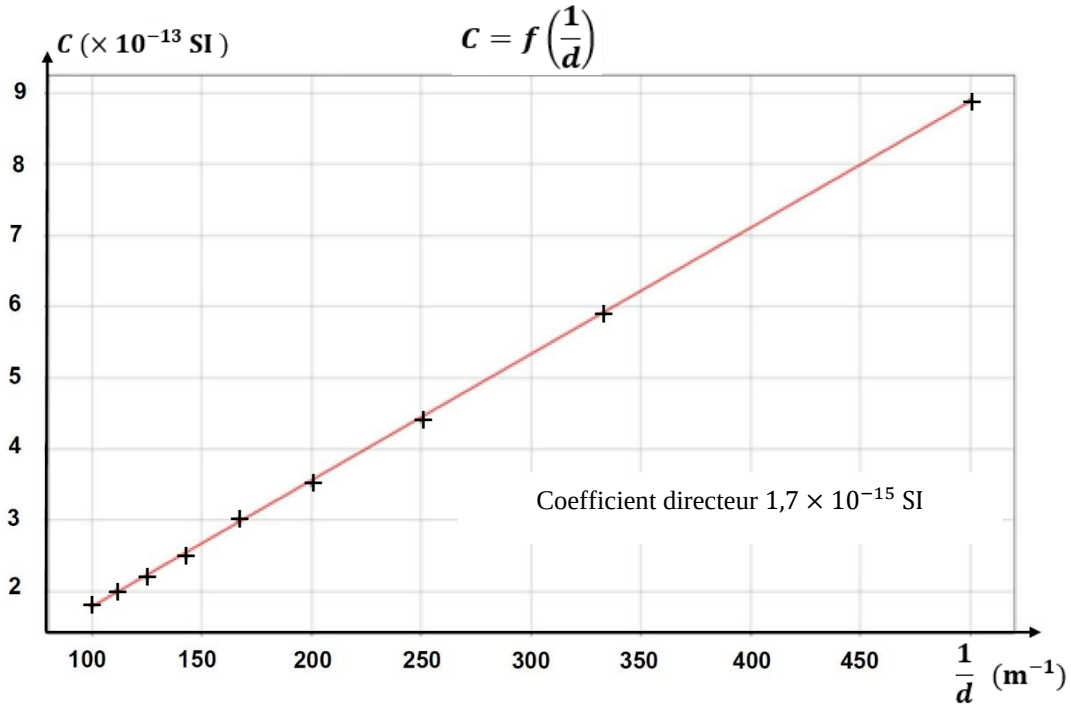


Figure 5 : Évolution de la capacité du condensateur plan en fonction de l'inverse de la distance entre ses armatures

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

A.2. Montrer que les graphiques présentés en **figures 4 et 5** respectent la **relation 1**.

PARTIE B : Mouvement d'une goutte d'encre électriquement chargée

Données :

- Distance entre les armatures du condensateur plan : $d = 5{,}0\ \text{mm}$.
- Longueur des armatures : $L = 20\ \text{mm}$.
- Charge électrique du condensateur plan : $q_C = 1{,}0\ \text{nC}$.
- Distance entre le condensateur plan et la feuille d'impression : $D = 10\ \text{mm}$.
- Volume d'une goutte d'encre : $V = 1{,}5 \times 10^{-14}\ \text{m}^3$.
- Masse volumique de l'encre : $\rho = 9{,}5 \times 10^{2}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Charge électrique d'une goutte d'encre : $q = -2{,}0 \times 10^{-13}\ \text{C}$.
- Intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- Tension constante appliquée entre les armatures : $U = 3{,}0\ \text{kV}$.
- Valeur de la vitesse initiale de la goutte d'encre : $v_0 = 30\ \text{m.s}^{-1}$.
- Pour un condensateur plan, la valeur E du champ électrostatique est reliée à la tension U et à la distance d qui sépare les armatures par la relation : $E = \frac{U}{d}$.

B.1. Trajectoire d'une goutte d'encre électriquement chargée dans un champ électrique uniforme

Dans cette partie, on étudie le mouvement, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, d'une goutte d'encre électriquement chargée assimilée à un point matériel M entre les plaques d'un condensateur plan de capacité C. Une tension constante U est appliquée entre les armatures.

À l'instant $t = 0$, la goutte arrive en un point O avec un vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ parallèle aux armatures du condensateur plan (**figure 6**).

Lors de cette étude, on négligera tout type de frottement ainsi que la valeur du poids P de la goutte d'encre devant la valeur de la force électrostatique F_e subie par la goutte.

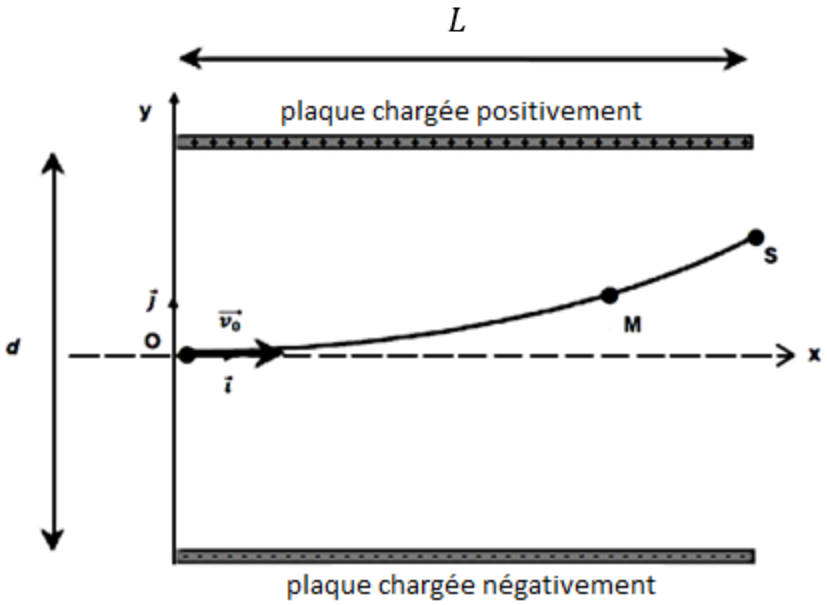


Figure 6 : Trajectoire de la goutte d'encre électriquement chargée

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

B.1.2. Compléter le schéma de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (page 13/13)** en représentant sans souci d'échelle le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\overrightarrow{F_e}$ que subit la goutte d'encre au point M. Justifier l'orientation de chacun des vecteurs.

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

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

B.1.4.2. En déduire que la trajectoire de la goutte d'encre au sein du condensateur plan s'écrit :

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

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

B.2. Impact de la goutte d'encre sur la feuille

À la sortie du condensateur plan, la goutte d'encre n'est soumise à aucune force (on néglige son poids). Elle acquiert alors un mouvement rectiligne uniforme jusqu'à la feuille de papier située à la distance D du condensateur plan. Le point d'impact de la goutte sur la feuille se situe à l'ordonnée $y =$ O'Y avec O' situé au centre de la feuille. La trajectoire rectiligne suivie par la goutte fait avec l'axe (Ox) un angle α et intercepte l'axe au point I, milieu de OH (**figure 7**).

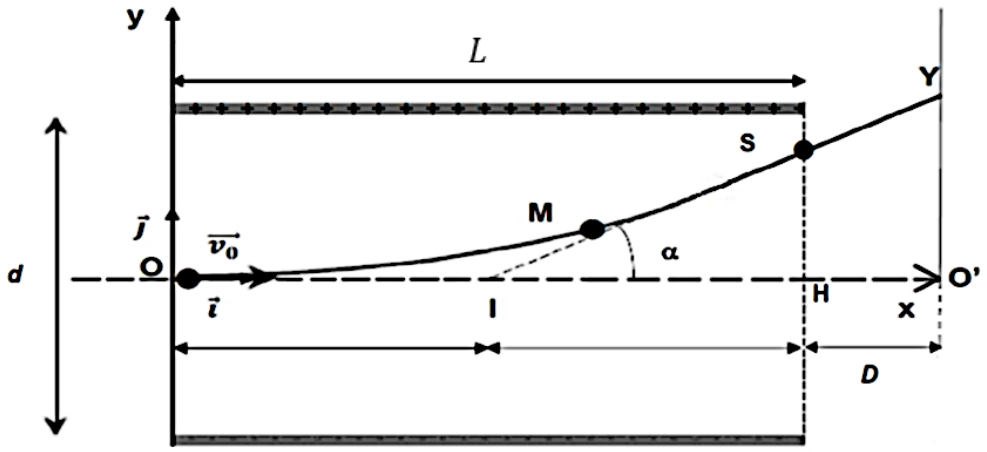


Figure 7 : Du condensateur plan à la feuille d'impression

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

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.

B.2.2.2. En déduire que l'ordonnée Y du point d'impact de la goutte d'encre sur la feuille a pour expression :

$$Y = -\frac{q \times U \times L}{m \times d \times v_0^2} \times \left(\frac{L}{2} + D\right)$$

B.2.2.3. Déterminer dans quelle zone de la feuille, c'est-à-dire zone 1, 2 ou 3 de la **figure 8**, la goutte va se déposer.

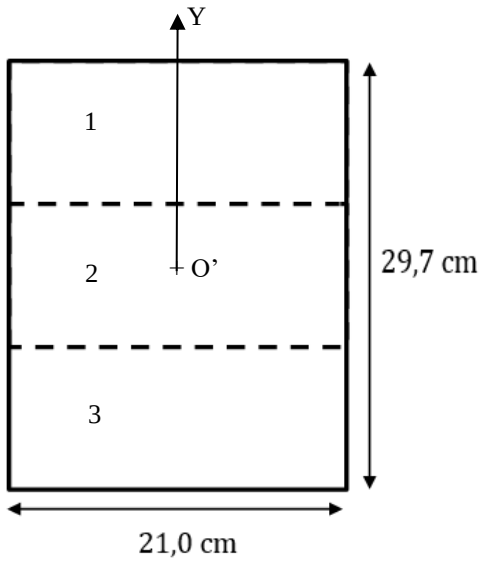


Figure 8 : Les différentes zones d'une feuille A4
(les trois zones sont de même dimension)

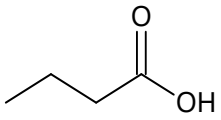
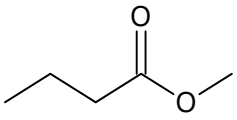
EXERCICE II – L'ACIDE BUTYRIQUE (5 points)

Tous les automnes, sur l'avenue Pasteur à Rouen, une odeur intense très désagréable apparaît, dérangeant les étudiants des facultés à proximité ainsi que les riverains. Les responsables : des arbres plantés en 2001, des ginkgos biloba. La variété femelle produit chaque automne des ovules contenant des acides gras, dont l'acide butyrique responsable de cette mauvaise odeur.

Les parties A et B sont indépendantes.

Données :

- Caractéristiques d'espèces chimiques :

Espèce chimique	**Acide butyrique**	**Méthanol**	**Butanoate de méthyle**
Formule topologique			
Formule brute	$C_4H_8O_2$	CH_4O	$C_5H_{10}O_2$
Masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$)	88,1	32,0	102,1
Densité à 25 °C	0,958	0,792	0,892
$T_{ébullition}$ (°C)	163,5	64,7	102,3
T_{fusion} (°C)	−7,9	−97,6	−84,8
Indice de réfraction	1,398	1,327	1,385
Solubilité dans l'eau salée	Élevée	Très élevée	Très faible

- Densité de l'eau salée : 1,03

- Table de données de spectroscopie IR :

Famille	**Liaison**	**Nombre d'onde (cm^{-1})**
Cétone	$C=O$	$1705-1725$
Aldéhyde	$C_{tri}-H$ $C=O$	$2700-3000$ $1720-1740$
Acide carboxylique	$O-H$ $C=O$	$2500-3200$ $1740-1800$
Ester	$C_{tri}-H$ $C=O$	$2700-3000$ $1730-1750$
Alcool	$O-H_{lié}$ $O-H_{libre}$	$3200-3450$ $3600-3700$

PARTIE A : Étude d'une solution aqueuse d'acide butyrique

On notera dans cette partie, pour simplifier, l'acide butyrique $\mathrm{AH_{(aq)}}$ et sa base conjuguée $\mathrm{A^-_{(aq)}}$.

On considère un volume $V = 100\ \mathrm{mL}$ d'une solution d'acide butyrique de concentration en quantité de matière $C = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. La mesure du pH de la solution donne $pH = 4{,}5$.

L'acide butyrique réagit avec l'eau selon l'équation de réaction suivante :

$$\mathrm{AH(aq) + H_2O(l) \ \rightleftarrows \ A^-(aq) + H_3O^+(aq)}$$

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

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

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

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

On montre que les concentrations en quantité de matière à l'équilibre peuvent s'exprimer de la manière suivante :

$[\mathrm{AH(aq)}]_{\mathrm{eq}} = C \times (1 - \tau)$ pour l'acide butyrique,

$[\mathrm{A^-(aq)}]_{\mathrm{eq}} = C \times \tau$ pour sa base conjuguée.

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

A.5.2. En déduire la valeur du pK_{A} de l'acide butyrique.

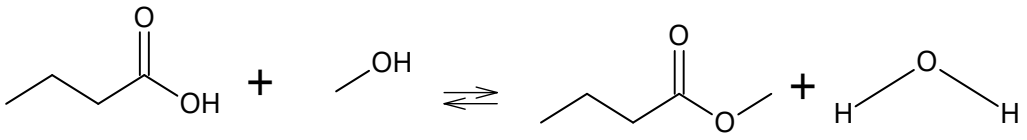
PARTIE B : Synthèse d'un ester à l'odeur de pomme à partir de l'acide butyrique

Même si l'acide butyrique possède une odeur désagréable, certains esters issus de cet acide ont une odeur agréable souvent fruitée. C'est le cas du butanoate de méthyle qui a une odeur de pomme.

La synthèse du butanoate de méthyle est réalisée selon le protocole suivant :

- verser dans un ballon à fond rond $20\ \mathrm{mL}$ de méthanol, $20\ \mathrm{mL}$ d'acide butyrique et $4\ \mathrm{mL}$ d'acide sulfurique concentré ;
- ajouter quelques grains de pierre ponce ;
- chauffer à reflux pendant $15\ \mathrm{min}$;
- laisser refroidir en enlevant le chauffe-ballon ;
- verser le contenu du ballon dans un bécher contenant $40\ \mathrm{mL}$ de solution saturée en $\mathrm{NaCl(s)}$;
- transvaser ensuite dans l'ampoule à décanter et laisser décanter ;
- séparer les deux phases ;
- recueillir la phase organique et la sécher sur du sulfate de magnésium anhydre ;
- purifier l'ester obtenu par distillation.

L'équation de réaction de la synthèse est la suivante :



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

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

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

Le spectre du produit synthétisé est fourni **figure 1** :

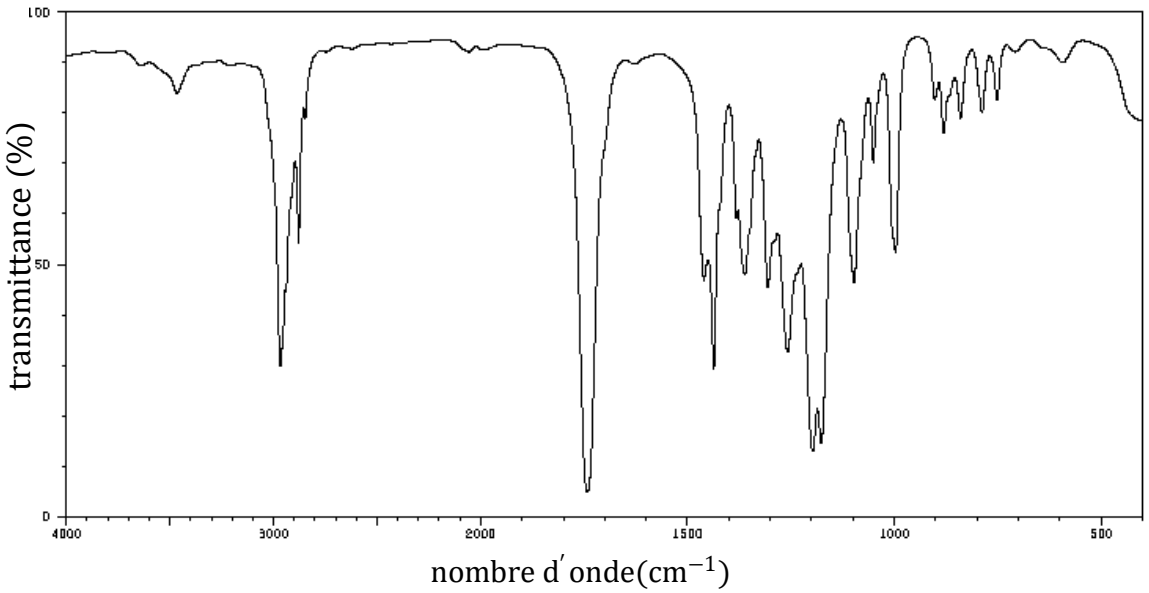


Figure 1 : Spectre IR du produit synthétisé

Source : d'après Spectral Database for Organic Compounds SDBS

B.4. Attribuer un groupe d'atomes à chacun des pics entre les valeurs de nombre d'onde comprises entre $1600\ \text{cm}^{-1}$ et $4000\ \text{cm}^{-1}$. Indiquer si ce spectre IR est compatible avec le produit de réaction attendu.

EXERCICE III : ANALYSE D'UN SOL (4 points)

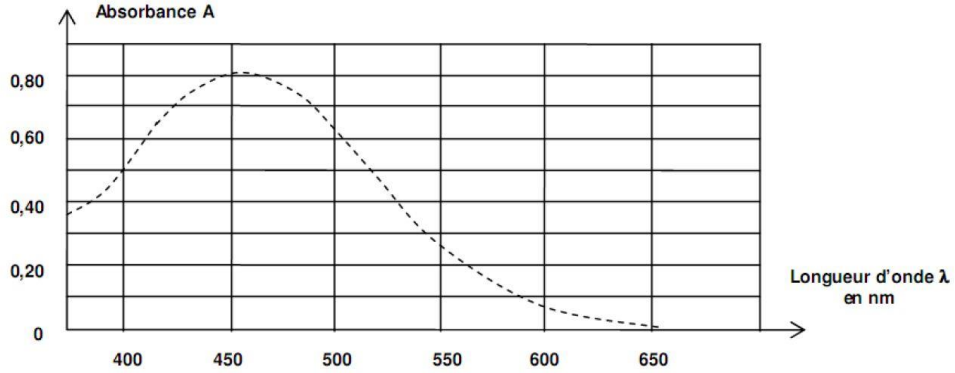
De nombreux éléments minéraux, tel le fer, et l'azote sont indispensables pour permettre aux végétaux de synthétiser la chlorophylle. Si ces éléments sont déficitaires dans le sol, la concentration en chlorophylle sera moindre et la couleur des végétaux moins verte. Ainsi, lorsqu'un sol est en carence de fer, les feuilles se décolorent et deviennent jaunes : c'est ce qu'on appelle la chlorose ferrique.

PARTIE A : Étude de la réaction mise en jeu

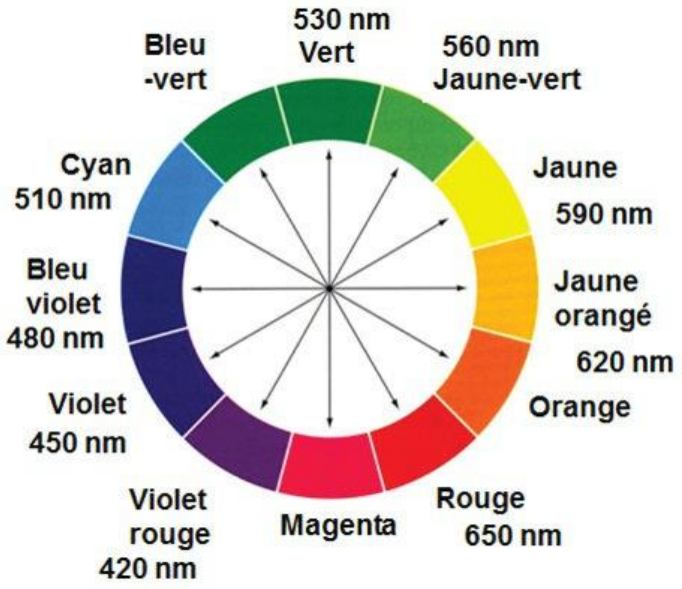
En présence d'ions thiocyanate $\mathrm{SCN^-(aq)}$ incolores les ions fer (III) $\mathrm{Fe^{3+}(aq)}$ forment des ions thiocyanatofer (III) $\mathrm{[FeSCN]^{2+}(aq)}$ colorés en solution aqueuse.

Données :

- Masse molaire du fer : $M(\mathrm{Fe}) = 55{,}8\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$
- Spectre d'absorption des ions thiocyanatofer (III) $\mathrm{[FeSCN]^{2+}(aq)}$ en solution aqueuse :



- Cercle chromatique :



- Équation de la réaction modélisant la transformation qui se produit lors du test de détection :

$$\mathrm{Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftarrows [FeSCN]^{2+}(aq)}$$

- Constante d'équilibre K associée à cette réaction à $25°\mathrm{C}$: $K = 130$.

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

On dissout une quantité de matière $n_1 = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$ d'ions fer (III) $\mathrm{Fe}^{3+}(\mathrm{aq})$ et une quantité de matière $n_2 = 5{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$ d'ions thiocyanate $\mathrm{SCN}^-(\mathrm{aq})$ dans un volume $V = 500{,}0\ \mathrm{mL}$ d'eau.

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

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

PARTIE B : Analyse d'un échantillon

Les eaux qui ruissellent sur les sols et s'y infiltrent dissolvent les différents ions qu'ils contiennent. Ainsi l'eau stockée dans les nappes phréatiques souterraines est caractéristique du sol traversé.

Afin d'évaluer la concentration en ions fer III contenus dans un sol, on dose par spectrophotométrie les ions thiocyanatofer (III) $[\mathrm{FeSCN}]^{2+}(\mathrm{aq})$ contenus dans une solution aqueuse S préparée comme suit :

- on introduit dans une fiole jaugée de $50{,}0\ \mathrm{mL}$ un volume $V_0 = 25{,}0\ \mathrm{mL}$ d'un échantillon d'eau prélevé d'une nappe phréatique ;
- on y ajoute $1\ \mathrm{mL}$ d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à $5\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, puis $1\ \mathrm{mL}$ d'une solution aqueuse de thiocyanate de potassium $(\mathrm{K}^+(\mathrm{aq}), \mathrm{SCN}^-(\mathrm{aq}))$ à $2\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$;
- on complète la fiole jusqu'au trait de jauge par de l'eau distillée.

B.1. Gamme d'étalonnage

Cinq solutions étalon de différentes concentrations c_f sont préparées à partir d'une solution mère S_{m} en ions $\mathrm{Fe}^{3+}_{(\mathrm{aq})}$ de concentration $c_{\mathrm{m}} = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

Chacune de ces solutions, de volume total $V_{\mathrm{f}} = 50{,}0\ \mathrm{mL}$, contient :

- un volume V_i de la solution mère S_{m} ;
- $1\ \mathrm{mL}$ d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à $5\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$;
- $1\ \mathrm{mL}$ d'une solution aqueuse de thiocyanate de potassium $(\mathrm{K}^+(\mathrm{aq}), \mathrm{SCN}^-(\mathrm{aq}))$ à $2\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$;
- de l'eau distillée.

On mesure l'absorbance A pour chacune des solutions ci-après dans le tableau et on trace la courbe d'étalonnage $A = f(c_f)$ fournie sur la **figure 1** page suivante.

Solution	1	2	3	4	5
$c_f\ (\mathrm{mol \cdot L^{-1}})$	$4{,}0 \times 10^{-5}$	$8{,}0 \times 10^{-5}$	$1{,}2 \times 10^{-4}$	$1{,}6 \times 10^{-4}$	$2{,}0 \times 10^{-4}$

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

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}.

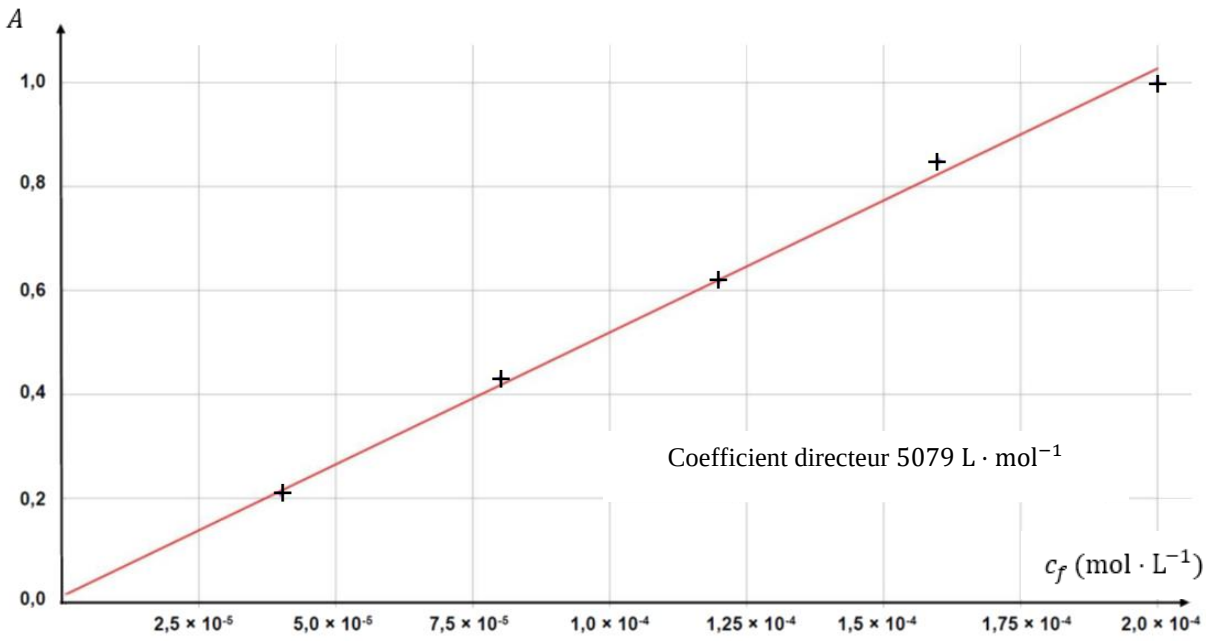


Figure 1 : Courbe d'étalonnage

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

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

B.2. Dosage de la solution S

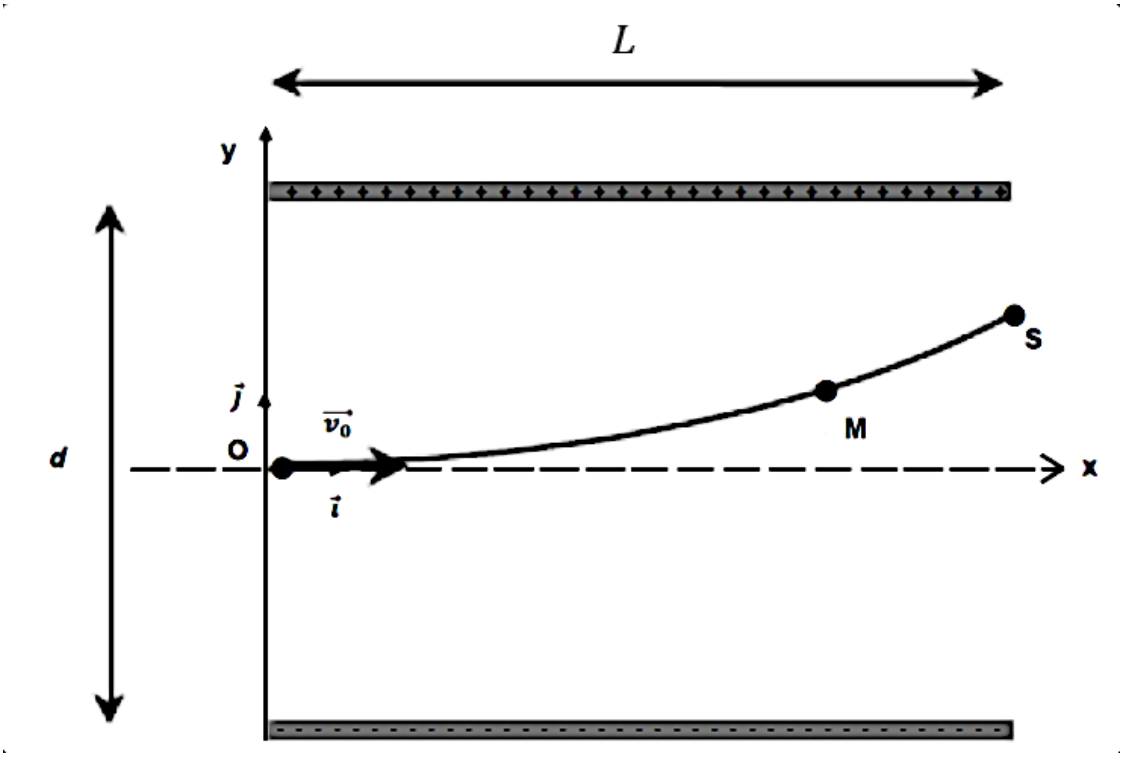
L'absorbance de l'échantillon S mesurée dans les mêmes conditions que pour les solutions étalons est $A = 0{,}70$.

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

Dans cette question, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (même non complétée)

EXERCICE 1 – Question B.1.2



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2