

BACCALAUREAT GENERAL - BLANC

SESSION 2024

Mardi 19 mars 2024

Spécialité **PHYSIQUE – CHIMIE**

SUJET A

DUREE DE L'EPREUVE (PARTIE PHYSIQUE ET CHIMIE) : 3h30

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Mode examen de la calculatrice obligatoire.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur pages numérotées de 1 à 13 y compris celle-ci.

LES ANNEXES en p.12 et 13 seront à rendre avec la copie.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Exercice I. Apprentissage du saut en parachute (10 points)

Au cours de l'une des étapes de sa formation, un élève parachutiste doit apprendre à évaluer par lui-même la durée au bout de laquelle il doit actionner la commande de l'ouverture de son parachute, quelques secondes après avoir sauté de l'avion. En cas d'urgence, un parachute de secours se déclenche automatiquement. Mais avant de sauter, l'élève et son moniteur doivent pouvoir s'entendre parler dans l'avion !

Données :

- Masse de l'élève parachutiste et de son équipement : $m = 75,0 \text{ kg}$.
- Intensité du champ de pesanteur $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Partie 1 – Communication dans l'environnement bruyant de l'avion

Dans l'avion qui emmène le moniteur et son élève à l'altitude souhaitée, le niveau d'intensité sonore est $L_1 = 82 \text{ dB}$.

On estime que, dans le cas de deux émissions sonores simultanées, il faut que les niveaux d'intensité sonore soient séparés de 8 dB au minimum pour que le son le plus faible n'empêche pas d'entendre clairement le son le plus fort.

Données :

Le niveau d'intensité sonore L (dB) et l'intensité sonore I sont liés par la relation :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{avec} \quad I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}, \text{ seuil d'audibilité ;} \quad \text{aide : } 10^{\log X} = X$$

On estime qu'il est nécessaire de crier pour produire un son d'intensité sonore égale ou supérieure à $I_c = 1,0 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$.

- 1.1. Préciser le niveau d'intensité sonore minimal L_2 que doit avoir la conversation entre le moniteur et son élève pour qu'ils puissent s'entendre clairement en dépit du bruit de l'avion.
- 1.2. Indiquer, en justifiant, si la gêne occasionnée par le bruit de l'avion impose ou non au moniteur et à son élève de crier.

Compte tenu du niveau d'intensité sonore dans l'avion, les pilotes utilisent des casques d'aviation ANR (pour Active Noise Reduction ou Réduction Active de Bruit), aussi appelés casques actifs, pour faciliter les communications. Le fonctionnement de ces casques repose sur une technologie électronique qui permet de capter les bruits extérieurs via un microphone placé sur la coque du casque, et d'émettre, dans l'écouteur du casque, un signal qui vient se superposer au bruit de l'avion de façon à le réduire.

- 1.3. Nommer le phénomène physique exploité par la technologie ANR.

Afin d'illustrer au laboratoire le principe d'un casque ANR, on place un microphone en face de deux enceintes sonores. La première enceinte produit un son modélisant le bruit de l'avion par un signal de fréquence unique. Le document 1 donné en annexe montre l'évolution temporelle de la tension u_1 aux bornes du microphone.

- 1.4. Représenter sur le document 1 en annexe page 13, **à rendre avec la copie**, l'allure du signal que doit produire la deuxième enceinte pour « supprimer » le son modélisant le bruit de l'avion

Partie 2 – Détermination expérimentale de l'altitude au moment de l'ouverture du parachute

L'élève parachutiste et son moniteur quittent simultanément l'avion en un point A, d'altitude $z_A = 1\,500$ m. Tout au long du saut, le moniteur reste à la même altitude que son élève. Lorsque l'élève ouvre son parachute, le moniteur relève la valeur de l'altitude z_B indiquée par son altimètre. Cette valeur sera utile pour le débriefing après le saut.

Le principe de fonctionnement de l'altimètre est basé sur la mesure d'une variation de pression à partir de laquelle est déduite une variation d'altitude. Cette partie s'intéresse à un modèle de détermination d'une variation d'altitude à partir de la mesure d'une variation de pression.

Données :

- D'après la loi fondamentale de la statique des fluides, la variation de pression entre les altitudes z et $z + h$ est liée à la variation d'altitude h par la relation :

$$p(z) - p(z + h) = \rho g h$$

avec p en Pa, h en m, g intensité du champ de pesanteur terrestre et ρ la masse volumique de l'air en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

- Echelle absolue de température : T (K) = θ (°C) + 273,15 ;
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- Masse molaire de l'air : $M = 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- À l'altitude $z_A = 1\,500$ m, la valeur de la pression est $p_A = 845$ hPa et celle de la température est $\theta_A = 5,5$ °C ;

Dans la situation étudiée, l'air peut être considéré comme un gaz parfait.

- 2.1.** En utilisant l'équation d'état des gaz parfaits, montrer que la masse volumique de l'air à l'altitude $z_A = 1\,500$ m a pour valeur $\rho = 1,06 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

On suppose que cette valeur de la masse volumique de l'air est constante pour la hauteur de chute considérée.

Entre le point A et l'ouverture du parachute, l'altimètre a mesuré une différence de pression de 31,8 hPa.

- 2.2** Déterminer l'altitude z_B qu'afficherait l'altimètre s'il utilisait la loi fondamentale de la statique des fluides.

Remarque : En pratique, les altimètres utilisent un autre modèle et une autre relation entre la variation de pression et l'altitude (formule du nivellement barométrique) car la température ainsi que la masse volumique de l'air varient avec l'altitude.

Partie 3 – Détermination théorique de l'altitude lors de l'ouverture du parachute

L'élève parachutiste ainsi que son moniteur quittent simultanément l'avion en un point A, à un instant pris comme origine des dates ($t = 0$ s). Lorsqu'ils sautent de l'avion, celui-ci vole horizontalement à l'altitude $z_A = 1\,500$ m avec une vitesse $v_A = 130$ km.h⁻¹.

L'élève a pour consigne d'enclencher l'ouverture de son parachute après avoir compté 10 secondes.

On étudie le mouvement du système {parachutiste + équipement} avant l'ouverture du parachute. Cette étude est réalisée dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

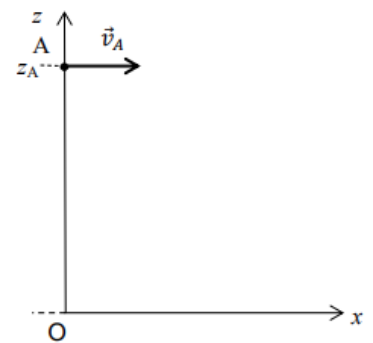


figure 1

Dans cette partie, pour modéliser le mouvement du parachutiste, on fait l'hypothèse que les actions de l'air sont négligeables et que le mouvement du système est plan.

La position du parachutiste est repérée dans le système d'axes (O, x, z), l'origine O étant prise au niveau du sol qui correspond également ici au niveau de la mer. Le point A est situé à la verticale du point O sur l'axe (Oz).

- 3.1. Indiquer la (ou les) action(s) exercée(s) sur le parachutiste et la (ou les) modéliser par une (ou des) force(s).
- 3.2. En déduire, en justifiant, les coordonnées théoriques du vecteur accélération $a_x(t)$ et $a_z(t)$ et les expressions des coordonnées $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse du centre de masse du système.
- 3.3. Montrer que les équations horaires du mouvement du parachutiste dans le repère (O, x, z) sont modélisées par :

$$\begin{cases} x(t) = v_A t \\ z(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + z_A \end{cases}$$

avec t en seconde, v_A en mètre par seconde et $x(t)$, $z(t)$ et z_A en mètre.

- 3.4. Déterminer l'altitude théorique z_C à laquelle le parachutiste devrait ouvrir son parachute sachant que cette ouverture doit avoir lieu 10 s après le saut.

L'altimètre du moniteur indique $z_B = 1,2 \cdot 10^3$ m lorsque l'élève ouvre son parachute.

- 3.5. Proposer une raison pour expliquer la différence entre la valeur mesurée z_B et la valeur calculée z_C .

Partie 4 – Parachute de secours

Si le parachute ne s'ouvre pas, la vitesse de chute peut atteindre $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Un déclencheur de sécurité doit alors libérer le parachute de secours. Pour être pleinement fonctionnel, il doit respecter les deux conditions suivantes :

- Il doit entrer en action avant que l'altitude ne devienne inférieure à 320 m (condition sur l'altitude).
- Il doit permettre de passer de $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ à moins de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en 10 s (condition sur la vitesse).

Une fois le parachute de secours ouvert, les frottements dans l'air ne sont plus négligeables. Ils sont modélisés par une force, notée \vec{f} , de sens opposé au vecteur vitesse et de valeur proportionnelle au carré de la vitesse :

$$f = k v^2$$

k est appelé coefficient de frottement.

Cette modélisation des frottements a permis de tracer le graphique représentant l'évolution de la vitesse du centre de masse du système {parachutiste + équipement} (figure 2). Sur ce graphique, l'origine des dates correspond à l'ouverture du parachute de secours.

Dans la suite, le mouvement est considéré vertical depuis la date d'ouverture du parachute de secours jusqu'à la date d'arrivée sur le sol.

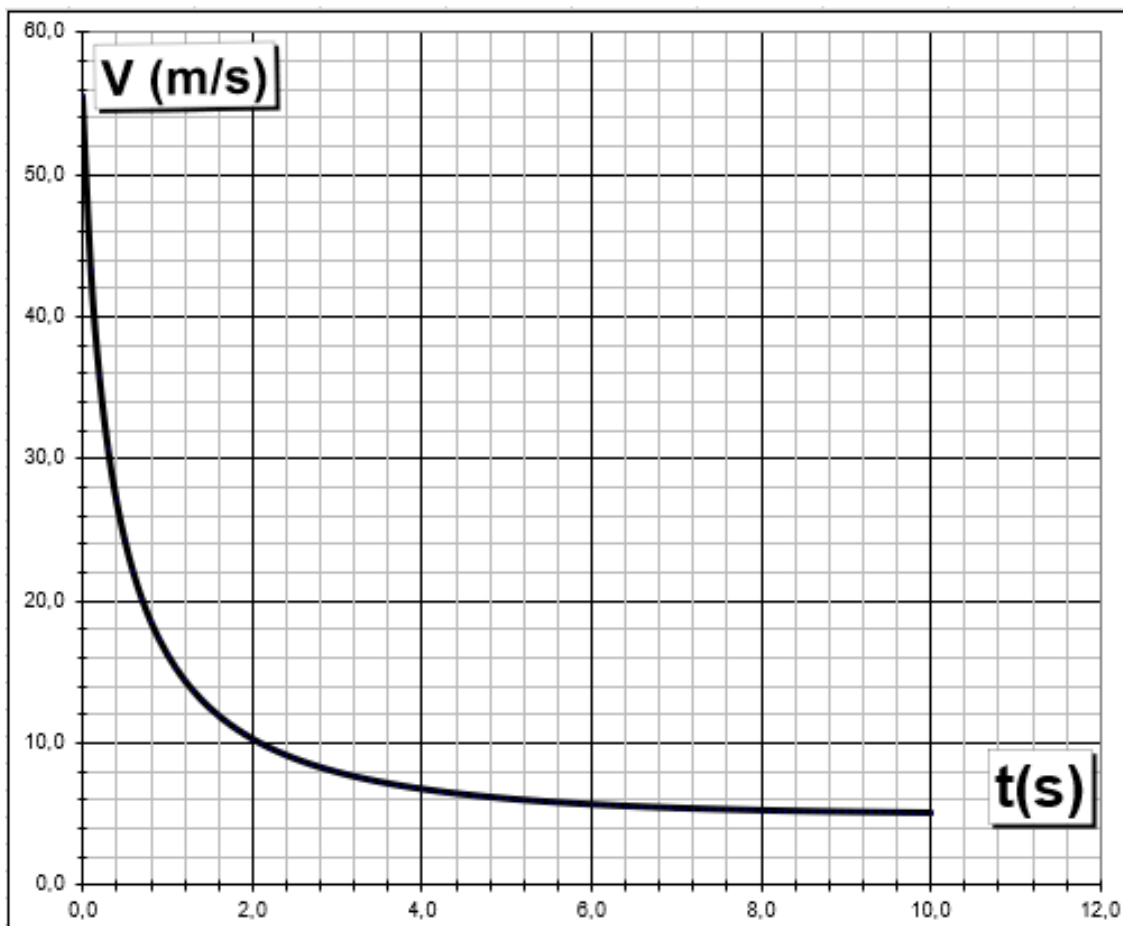


figure 2 : évolution de la valeur de la vitesse du système, dans le référentiel terrestre, après l'ouverture du parachute de secours

- 4.1.** Montrer que la modélisation rend bien compte de la condition de fonctionnement du parachute de secours portant sur la vitesse.

On cherche à déterminer les caractéristiques du vecteur accélération 2 s après le déclenchement du parachute de secours. Pour cela, on doit d'abord retrouver la valeur du coefficient de frottement k utilisée dans cette modélisation.

- 4.2.** Écrire la relation entre le vecteur accélération \vec{a} du système, et les forces modélisant les actions s'exerçant sur le système.

Après la date $t = 9$ s, on peut considérer que la vitesse prend une valeur constante v_f .

- 4.3.** Écrire, à partir de cette date, la relation entre les valeurs des forces et en déduire l'expression du coefficient de frottement k en fonction de m , g et v_f .
- 4.4.** En déduire la valeur du coefficient de frottement k choisi pour la modélisation. Préciser l'unité de k .
- 4.5.** Donner les caractéristiques (sens, direction et valeur) du vecteur accélération du système à la date $t = 2$ s.

Exercice II. Etude d'une pile au laboratoire (5 points)

Chaque année en France, 1,3 milliard de piles sont vendues dans le commerce. Petits réservoirs d'énergie, elles constituent des objets indispensables au quotidien.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'une pile réalisée au laboratoire et de comparer sa capacité électrique à celle d'une pile AA vendue dans le commerce, photographiée ci-contre.



Photographie de piles AA de capacité 2800 mAh

Données :

- masses molaires :

espèce chimique	Al	Al ₂ (SO ₄) ₃
masse molaire en g·mol ⁻¹	27,0	342,15

- couples oxydants-réducteurs : (Cu²⁺(aq) / Cu(s)) et (Al³⁺(aq) / Al(s)) ;
- charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C ;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ mol⁻¹ ;
- 1 mAh = 3,60 C.

Pour réaliser la pile étudiée, deux solutions aqueuses sont préparées : une solution de sulfate d'aluminium notée S, et une solution de sulfate de cuivre (Cu²⁺(aq) ; SO₄²⁻(aq)), notée S', toutes les deux sont à la concentration en soluté apporté de $C = 0,100$ mol·L⁻¹. Le sulfate d'aluminium est un solide de formule Al₂(SO₄)₃(s), disponible sous forme de poudre.

1. Rédiger le protocole expérimental précis à mettre en œuvre pour préparer 50,0 mL de la solution S à partir du sulfate d'aluminium en poudre.
2. Calculer les concentrations en quantité de matière en ions aluminium Al³⁺(aq) et en ion sulfate SO₄²⁻(aq) dans la solution S.

La pile est assemblée selon le schéma de la figure 1 représenté ci-dessous :

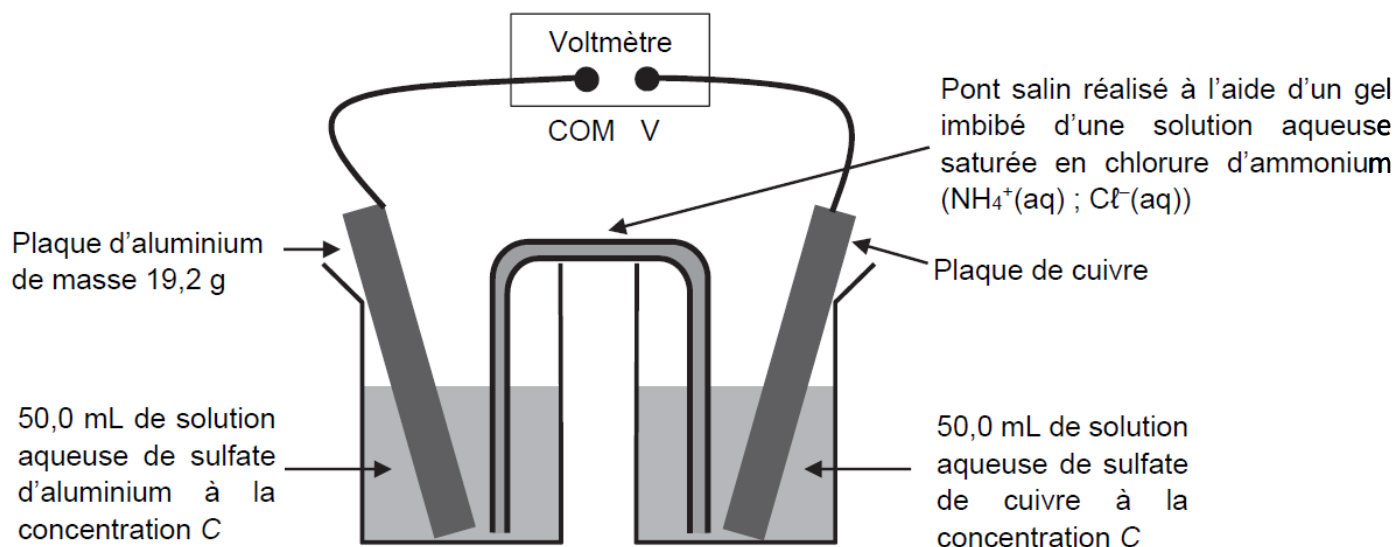


Figure 1. Schéma de la constitution de la pile

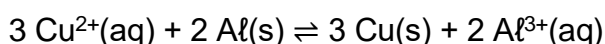
Pour déterminer la polarité de la pile ainsi constituée, un voltmètre est relié aux deux plaques métalliques. La borne COM du voltmètre est reliée à la plaque d'aluminium. Dans ces conditions, la tension mesurée aux bornes de la pile vaut $U = 0,92 \text{ V}$.

3. Déterminer le pôle positif de la pile à l'aide du montage expérimental de la figure 1.

Dans la suite de l'étude, le voltmètre est retiré puis est remplacé par un conducteur ohmique de résistance R .

4. Compléter le schéma fourni **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** en y indiquant la polarité de la pile, le sens du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge dans la pile et à l'extérieur de la pile lors de son fonctionnement.

5. Établir les équations modélisant les réactions aux électrodes lors du fonctionnement de la pile. En déduire que l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile s'écrit :



La constante d'équilibre K associée à cette réaction a pour valeur $K \approx 10^{200}$, à 25 °C.

6. Montrer que la valeur initiale du quotient de réaction du système vaut $Q_r = 40$. Conclure quant à l'évolution du système.

7. Capacité électrique de la pile.

7.1. Déterminer quel est le réactif limitant.

7.2. Déterminer la capacité électrique Q de la pile du laboratoire, puis la comparer aux piles commerciales de type « AA ».

8. Identifier un paramètre de la composition de la pile de laboratoire qu'il faudrait faire évoluer pour augmenter la capacité électrique de la pile, en précisant comment ce paramètre doit évoluer. Justifier.

Exercice III. Etude d'un traitement contre les verrues (5 points)

Afin d'éliminer les verrues simples, lésions cutanées d'origine virale très contagieuses et souvent douloureuses, il est coutume de les « brûler ». Un traitement par le froid ou une brûlure chimique ont l'effet identique de déshydrater les cellules contaminées et de provoquer la destruction du virus. Les lésions peuvent ainsi guérir et la peau cicatriser. Il est possible de se procurer en pharmacie des crayons qui permettent, à la maison, de traiter sélectivement la verrue. Certains, qui provoquent une brûlure chimique, contiennent une solution gélifiée d'acide trichloroacétique à 40,0% en masse.

L'objectif de cet exercice est de vérifier la concentration en quantité de matière d'acide trichloroacétique du crayon utilisé pour traiter les verrues.

Données :

- couple acide trichloroacétique/ion trichloroacétate: $C_2HO_2Cl_3(aq) / C_2O_2Cl_3^-(aq)$;
- masse volumique ρ de la solution à 40,0% en masse d'acide trichloroacétique :
 $\rho = 1,50 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;
- masse molaire moléculaire de l'acide trichloroacétique : $M = 163,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Partie 1 - Connaissance des acides

- 1.1. Donner la définition d'un acide.
- 1.2. Donner la définition d'une espèce amphotère. Donner un exemple en écrivant les couples mis en jeu.
- 1.3. Ecrire le schéma de Lewis de l'ion éthanoate. Expliquer pourquoi cet ion est une base.

Partie 2 – Etude de l'acide trichloroacétique du crayon.

On souhaite préparer un volume V de valeur égale à 100,0 mL d'une solution S_0 d'acide trichloroacétique à 40,0% en masse.

- 2.1. Calculer la valeur de la masse m d'acide trichloroacétique à peser pour préparer cette solution S_0 .
- 2.2. Vérifier que la valeur de la concentration en quantité de matière c_0 de la solution S_0 d'acide trichloroacétique ainsi préparée, est égale à $3,67 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On réalise une dilution au centième de la solution S_0 . Cette solution diluée est notée S_1 . Un volume $V_1 = 20,0 \text{ mL}$ de la solution S_1 est dosé par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(aq) + \text{HO}^-(aq)$) de concentration $c_2 = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- 2.3. Sur le document réponse à rendre obligatoirement avec la copie, annoter le schéma du dispositif utilisé pour le dosage pH-métrique réalisé.

La courbe de la figure 1 représente le suivi pH-métrique du milieu réactionnel.

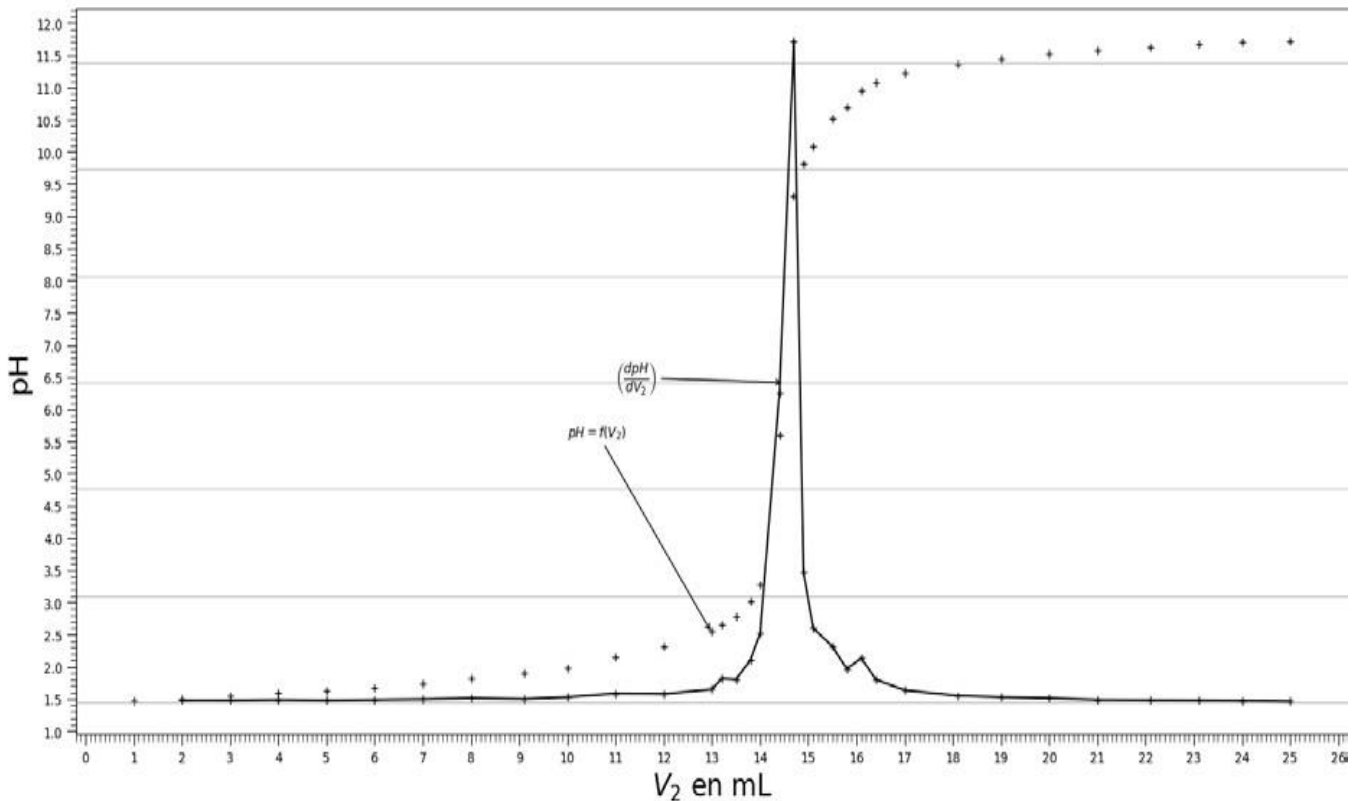


Figure 1. Courbe du dosage de la solution S1 par la solution d'hydroxyde de sodium de concentration en quantité de matière c2

2.4. À l'aide de la courbe de la figure 1, déterminer le volume V_{2E} de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence. Nommer la méthode utilisée.

On veut modéliser la transformation chimique observée lors de la réalisation du dosage par l'hydroxyde de sodium en solution. L'acide trichloroacétique sera noté AH, tandis que l'ion trichloroacétate sera noté A⁻.

- 2.5. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation observée durant le dosage.
- 2.6. Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière c₁ de la solution diluée d'acide trichloroacétique S₁.
- 2.7. En déduire la valeur de la concentration en quantité de matière c_{0exp} de la solution aqueuse d'acide trichloroacétique S₀.

On note $u(c_{0\text{exp}})$ l'incertitude-type sur la valeur de la concentration $c_{0\text{exp}}$ de la solution S_0 . Une simulation via l'exécution d'un programme Python donne la valeur de $u(c_{0\text{exp}})$ égale à $4 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le résultat d'une mesure est en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient

$$\frac{|x - x_{\text{réf}}|}{u(x)}$$

est inférieure ou égale à 2, avec :

- x , la valeur expérimentale,
- $x_{\text{réf}}$, la valeur de référence,
- $u(x)$, l'incertitude-type.

2.8. Vérifier la compatibilité de la valeur de $c_{0\text{exp}}$ trouvée à l'issu du dosage à celle de la valeur de référence c_0 de la question 2.2.

Pour mettre en place un contrôle-qualité rapide et plus systématique, on souhaite remplacer l'usage du pH-mètre dans le dosage par l'emploi d'un simple indicateur coloré acido-basique.

Indicateur coloré	zone de virage	pKa	forme acide	forme basique
Bleu de thymol	1,2 à 2,8	1,6	rouge	jaune
Rouge de phénol	6,0 à 8,0	7,1	jaune	rouge
Thymolphtaléine	9,3 à 10,5	9,9	incolore	bleu

Figure 2. Tableau présentant les caractéristiques de quelques indicateurs colorés acido-basiques disponibles

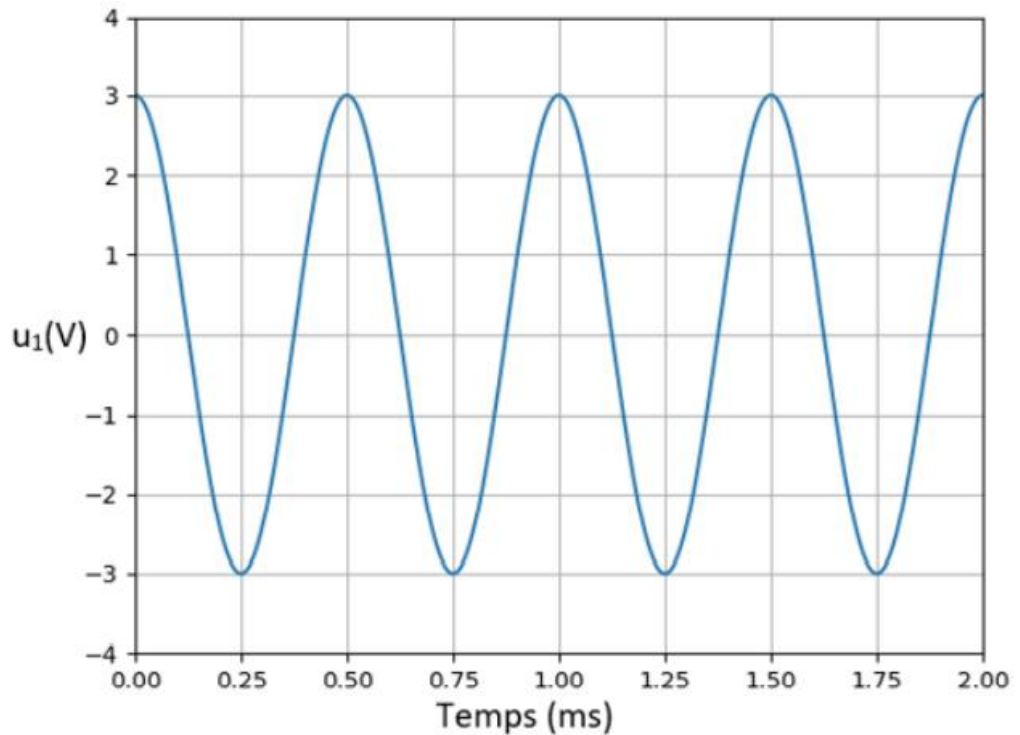
2.9. À partir de la figure 2, choisir l'indicateur coloré le plus pertinent pour le dosage de l'acide trichloroacétique parmi le choix proposé. Justifier la réponse.

ANNEXE à rendre avec la copie (même si vous n'avez rien écrit dessus)

EXERCICE I : APPRENTISSAGE DU SAUT EN PARACHUTE

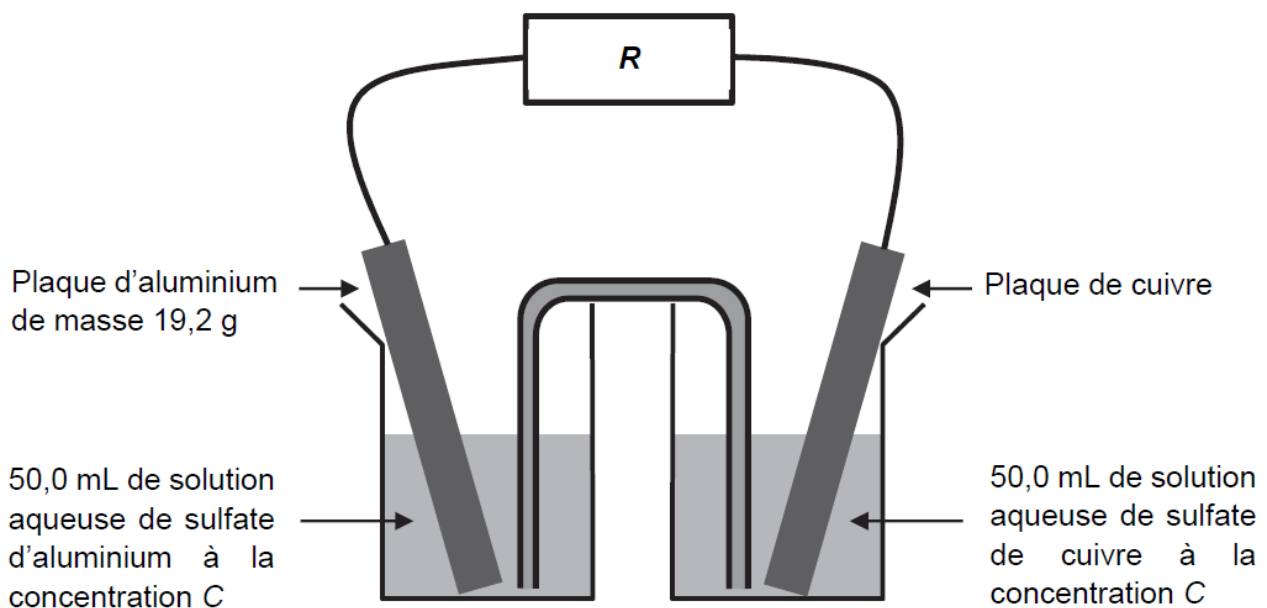
Question 1.4.

document 1



EXERCICE II : ETUDE D'UNE PILE AU LABORATOIRE

Question 4.



ANNEXE à rendre avec la copie (même si vous n'avez rien écrit dessus)

EXERCICE III : ETUDE D'UNE TRAITEMENT CONTRE LES VERRUES

Question 2.3. Annoter le schéma du dispositif utilisé pour le dosage pH-métrique réalisé.

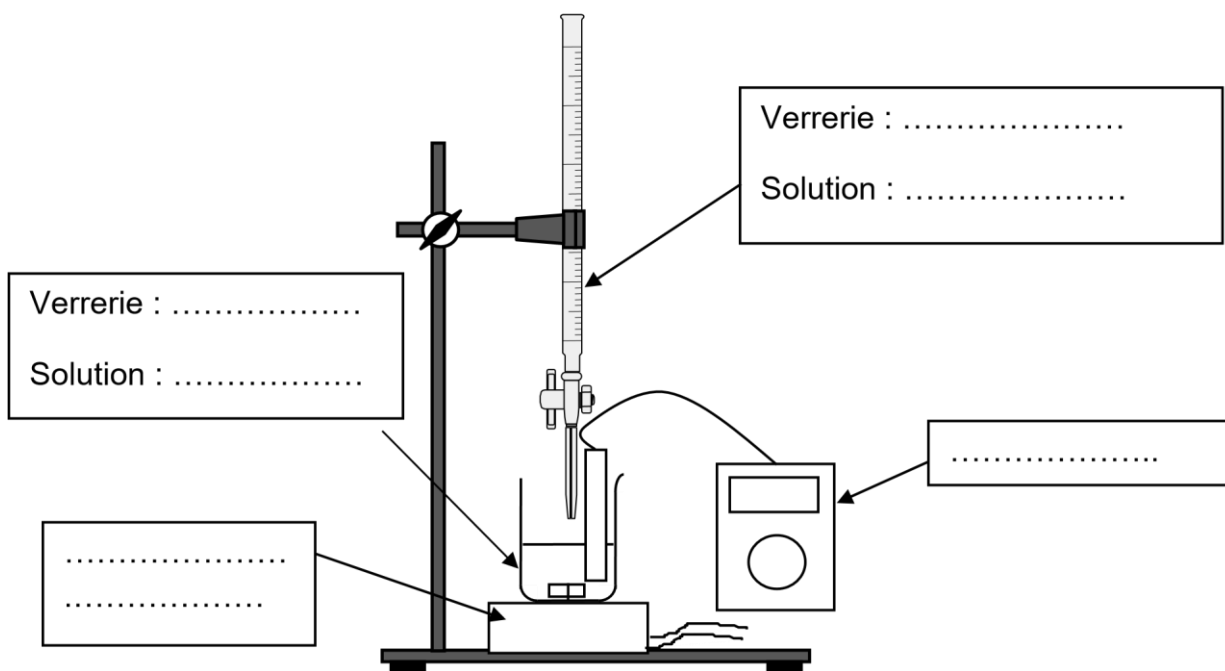


Schéma du dispositif de dosage par titrage pH-métrique