BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

EXERCICE 1 – LES ALGUES VERTES (9 points)

Les marées vertes, parfois observées sur les côtes françaises, résultent de la prolifération massive d'algues liée à une augmentation de la concentration en atomes d'azote et de phosphore dans le milieu aquatique. Ce phénomène peut devenir dangereux pour la santé humaine, notamment en raison de la libération de sulfure d'hydrogène H_2S lors de la décomposition des algues.

L'objectif de cet exercice, dont les parties sont indépendantes, est :
- de déterminer la concentration en masse en ions nitrate d'une eau souterraine (Partie A) ;
- d'étudier la production de sulfure d'hydrogène par les algues vertes (Partie B) ;
- d'étudier les différents moyens de revalorisation des algues vertes (Partie C).

Partie A : Dosage des ions nitrate.

Les ions nitrate, provenant de l'usage intensif d'engrais, s'infiltrent dans les nappes phréatiques et finissent par atteindre les eaux souterraines puis les côtes, ce qui permet aux algues vertes de se multiplier.
La réglementation européenne fixe un seuil à 50 $mg \cdot L^{-1}$ d'ions nitrate pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Pour déterminer la concentration en ions nitrate d'une eau, le dosage s'effectue en deux étapes.
Étape 1 : Les ions nitrate NO_3^- , en milieu acide, réagissent avec une quantité de cuivre métallique en excès selon une transformation chimique totale modélisée par la réaction suivante :

$$3\ Cu\ (s) + 2\ NO_3^-\ (aq) + 8\ H^+(aq) \rightarrow\ 2\ NO\ (g) + 4\ H_2O\ (\ell) + 3\ Cu^{2+}(aq) \quad (1)$$

Dans un ballon muni d'un réfrigérant à eau, on introduit un volume V_{eau} = 50,0 mL d'eau souterraine bretonne, 50 mg de copeaux de cuivre et 5 mL d'acide sulfurique concentré. Après chauffage à reflux et refroidissement, le contenu du ballon est filtré et recueilli dans un erlenmeyer.

Q1. Citer deux avantages apportés par l'utilisation d'un chauffage à reflux.

Étape 2 : Les ions cuivre Cu^{2+} réagissent avec l'ammoniac NH_3 en excès pour former un composé coloré : le tétraammine cuivre II, noté $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, selon une transformation chimique totale modélisée par la réaction suivante :

$$Cu^{2+}\ (aq) + 4\ NH_3\ (aq) \rightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+}\ (aq) \quad (2)$$

Une solution concentrée d'ammoniaque est ajoutée à la solution issue de l'étape 1. Le mélange est ensuite transféré dans une fiole jaugée de 100,0 mL et complété à l'eau distillée. On appelle S la solution colorée obtenue. La quantité de matière d'ions cuivre initialement présente, notée $n_{Cu^{2+}}$ est égale à la quantité de matière du composé coloré $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, qui est déterminée à l'aide d'un dosage par étalonnage spectrophotométrique.

Pour réaliser un dosage par étalonnage, on dispose d'une solution mère S_0 du composé $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ de concentration égale à 2,0 mmol·L^{-1}.
Trois solutions filles S_1, S_2 et S_3 de concentrations en quantité de matière respectives 1,5 mmol·L^{-1}, 1,0 mmol·L^{-1}et 0,50 mmol·L^{-1} sont obtenues en diluant la solution mère dans des fioles jaugées de 10,0 mL.

Q2. Nommer la verrerie nécessaire à la préparation de la solution fille S_2, en détaillant le calcul du volume à prélever.

La solution S_0 est utilisée pour réaliser le spectre d'absorption du composé coloré $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ (**Figure 1**).

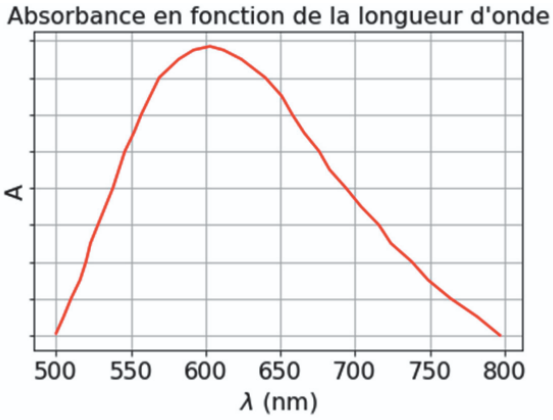
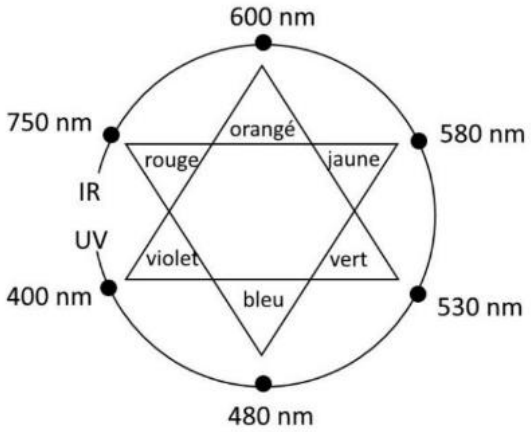


Figure 1. Spectre d'absorption du composé coloré $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

Données :

- Masse molaire de l'ion nitrate NO_3^- : $M_{NO_3^-}$ = 62,0 g·mol^{-1} ;
- Cercle chromatique :



Q3. Proposer une valeur de la longueur d'onde appropriée pour le dosage par étalonnage et en déduire la couleur de la solution S_0 du composé coloré $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$.

On mesure l'absorbance à la longueur d'onde λ appropriée, de chaque solution étalon et de la solution inconnue S. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous et représentés sur la **Figure 2**.

Solution	S_0	S_1	S_2	S_3	S
Concentration (en mmol·L^{-1})	2,0	1,5	1,0	0,50	?
Absorbance	1,208	0,906	0,599	0,310	0,403

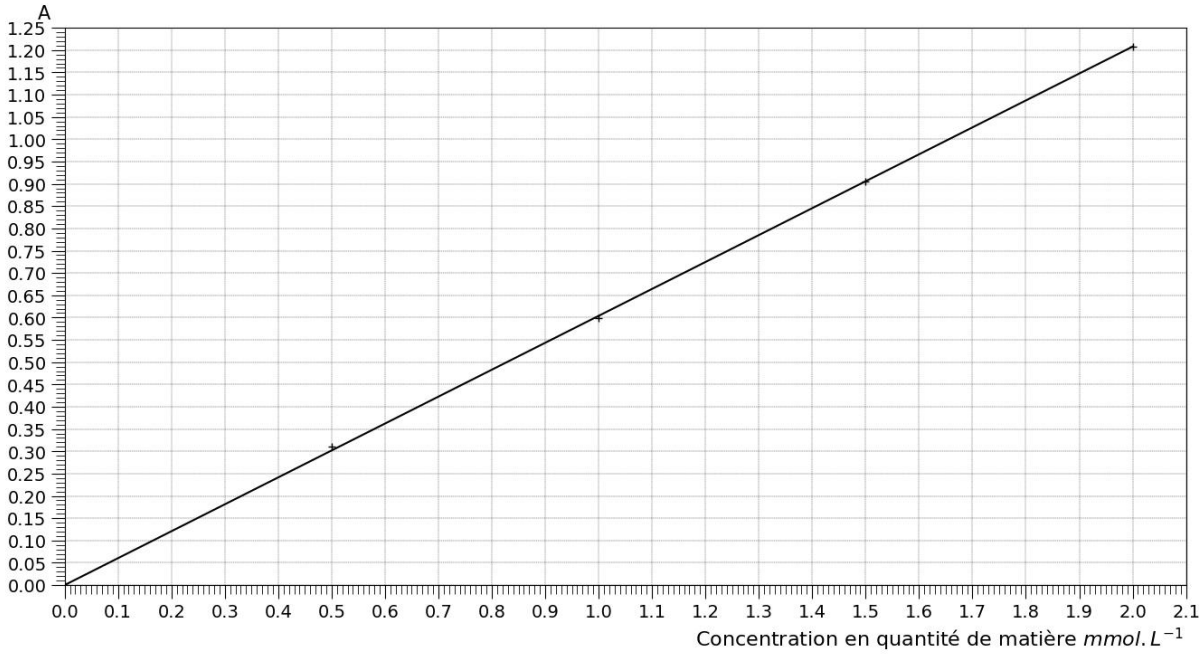


Figure 2. Courbe d'étalonnage de l'absorbance en fonction de la concentration en composé coloré $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

Q4. Expliquer en quoi la représentation graphique de la **Figure 2** est en accord avec la loi de Beer-Lambert.

Q5. À l'aide de la **Figure 2** et du tableau qui la précède, montrer que la quantité de matière des ions cuivre Cu^{2+} formés $n_{Cu^{2+}}$ dans la solution S vaut $6{,}7 \times 10^{-5}$ mol.

Q6. À partir de l'équation de réaction (1) de l'étape 1, montrer que la relation entre la quantité de matière d'ions nitrate contenus dans l'eau souterraine $n_{NO_3^-}$ et la quantité de matière d'ions cuivre formés $n_{Cu^{2+}}$ est :

$$n_{NO_3^-} = \frac{2}{3} \times n_{Cu^{2+}}$$

Q7. En déduire la concentration en masse $C_{m_{NO_3^-}}$ des ions nitrate présents dans les 50,0 mL d'eau souterraine. Conclure sur la qualité des eaux souterraines étudiées.

Partie B : Le sulfure d'hydrogène.

Le sulfure d'hydrogène de formule H_2S est un gaz très toxique. Les algues vertes libèrent ce gaz en se décomposant à cause de bactéries sulfato-réductrices qui transforment les ions sulfate SO_4^{2-} en sulfure d'hydrogène H_2S en absence de dioxygène.

Données :

- Couples oxydant/réducteur : SO_4^{2-} (aq) / H_2S (aq) ; O_2 (g) / H_2O (ℓ) ;
- Couples acide-base à 25°C : H_2S (aq) / HS^- (aq), $pK_{A1} = 7,0$;
  HS^- (aq) / S^{2-} (aq), $pK_{A2} = 12$;
- pH de l'eau de mer : 8,2 ;
- Extrait de l'étiquette d'une bouteille de sulfure d'hydrogène gazeux :

H400 - Très toxique pour les organismes aquatiques	H330 - Mortel par inhalation

Q8. Justifier le terme « réductrices » utilisé dans l'appellation « sulfato-réductrices » pour les bactéries.

On veut modéliser la transformation chimique entre le sulfure d'hydrogène et l'eau de mer en utilisant les couples H_2S (aq) / HS^- (aq) et H_3O^+ (aq) / H_2O (ℓ).

Q9. Écrire l'équation de la réaction acido-basique modélisant cette transformation chimique.

Q10. Tracer le diagramme de prédominance des couples acide-base H_2S (aq) / HS^- (aq) et HS^- (aq) / S^{2-} (aq). Indiquer l'espèce chimique prédominante quand les algues vertes sont en contact avec l'eau de mer.

Q11. Écrire l'équation d'oxydo-réduction qui a lieu quand le sulfure d'hydrogène H_2S entre en contact avec le dioxygène O_2 au moment où l'algue s'assèche. Justifier que le milieu subit une acidification.

Pour vérifier l'acidification du milieu, on se propose de calculer le nouveau pH. Pour cela, on étudie le couple acide-base H_2S (aq) / HS^- (aq). On considère que la concentration en quantité de matière en ions sulfure S^{2-} est négligeable.

Q12. Rappeler l'expression de la constante d'acidité K_{A1} du couple H_2S (aq) / HS^- (aq) en fonction des concentrations en quantité de matière à l'équilibre en ions hydrogénosulfure $[HS^-]$, en sulfure d'hydrogène $[H_2S]$ et en ions oxonium $[H_3O^+]$.

Le pH du milieu peut être déterminé selon l'expression suivante, admise :

$$pH = \frac{1}{2} \times \left(pK_{A1} - \log\left(\frac{K_{H_2S} \times p_{H_2S}}{p^o} \right) \right)$$

Où K_{H_2S} est la constante d'équilibre entre le sulfure d'hydrogène aqueux H_2S (aq) et le sulfure d'hydrogène gazeux H_2S (g), p_{H_2S} la pression partielle en H_2S (g) en bar et p^o la pression standard en bar.

Données :
- Constante d'équilibre H_2S (g) ⇄ H_2S (aq) : $K_{H_2S} = 0,09$;
- Pression partielle en H_2S (g) : $p_{H_2S} = 0,1$ bar ;
- Pression standard : $p^o = 1$ bar.

Q13. Calculer la valeur de pH. En déduire l'espèce chimique prédominante à ce pH. Indiquer les risques sanitaires et environnementaux à laisser les algues vertes sécher sur la plage.

Partie C : Revalorisation des algues vertes.

La revalorisation des algues utilise l'amidon présent dans les algues vertes. L'amidon est composé de deux polymères dont un qui a pour structure :

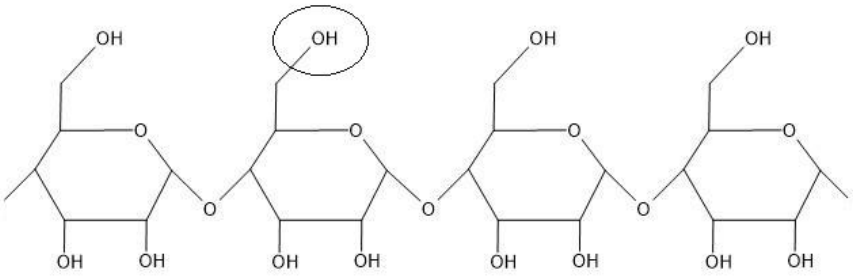


Figure 3. Formule topologique de l'amylose, polymère de l'amidon

Q14. Nommer la famille fonctionnelle correspondant au groupe caractéristique entouré en pointillés sur la **Figure 3**.

Q15. Identifier et recopier sur la copie le motif du polymère de la **Figure 3**.

Données :
- Loi des gaz parfaits : $PV = nRT$, où P est la pression du gaz en Pa, V son volume en m^3, n sa quantité de matière en mol, T sa température en K et R la constante des gaz parfaits ;
- $R = 8,314$ J·K^{-1}· mol^{-1} ;
- 1 bar = 10^5 Pa ;
- Conversion de température : T(K) = θ(°C) + 273 ;
- Masse molaire de l'éthanol C_2H_6O : $M_{C_2H_6O} = 46,0$ g·mol^{-1} ;
- Masse volumique de l'éthanol C_2H_6O : $\rho_{C_2H_6O} = 789$ g·L^{-1}.
- Tableau comparant les carburants SP95 et E85 :

Carburant	Volume de carburant consommé pour 100 km	Volume de dioxyde de carbone libéré lors d'un trajet de 100 km
SP95	7,0 L	8,3 m^3
E85	9,3 L	?

La fermentation de l'amidon des algues vertes permet de produire du « bioéthanol » C_2H_6O. Le bioéthanol est un carburant pouvant être utilisé par combustion dans certaines voitures sous la forme de E85 (85 % volumique de bioéthanol et 15 % volumique d'essence SP95) selon l'équation de réaction :

$$C_2H_6O\ (g) + 3\ O_2\ (g) \rightarrow 2\ CO_2\ (g) + 3\ H_2O\ (g)$$

Q16. Montrer que la quantité de matière de bioéthanol $n_{C_2H_6O}$ contenu dans le volume d'E85 nécessaire pour parcourir 100 km est voisine de $1{,}4 \times 10^2$ mol.

On considèrera que le dioxyde de carbone se comporte comme un gaz parfait à une température θ de 20 °C et une pression atmosphérique p_{atm} de 1,013 bar.

Pour la question suivante, 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.

Q17. Déterminer le volume de CO_2, noté V_{CO_2}, libéré lors d'un trajet de 100 km par la combustion du bioéthanol contenu dans l'E85. Comparer cette valeur au volume de dioxyde de carbone libéré si on utilise de l'essence SP95 pour le même trajet et conclure sur l'avantage du bioéthanol.

EXERCICE 2 - MESURE DU NIVEAU D'UN LIQUIDE (6 points)

Les capteurs capacitifs ont de nombreuses applications. Ils sont mis à profit entre autres pour contrôler le niveau de remplissage de cuves opaques.

L'objectif de cet exercice est l'étude du fonctionnement d'un capteur capacitif de niveau.

Un capteur de niveau capacitif est constitué d'un condensateur creux immergé dans une cuve. Le condensateur est constitué de deux armatures métalliques A et B séparées par un isolant qui peut être l'air ou le liquide (**Figure 1**). L'armature B entoure l'armature A.
Le liquide et l'air n'ayant pas les mêmes propriétés isolantes, la capacité du condensateur dépend du niveau de liquide présent dans la cuve.

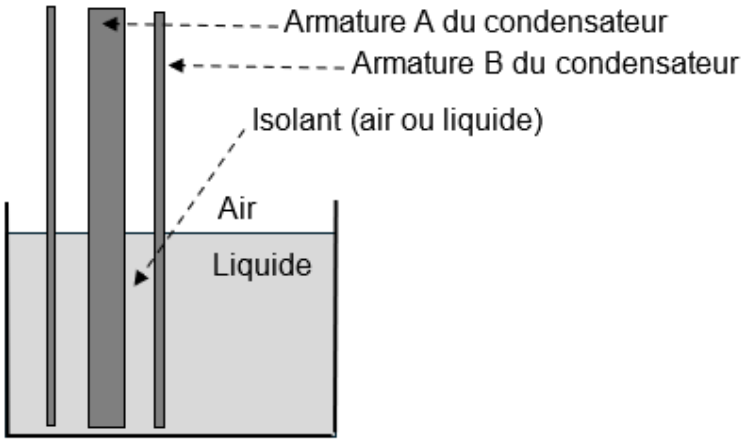


Figure 1. Schéma simplifié du capteur de niveau capacitif.

Partie A : Étude de l'influence de la capacité lors de la charge d'un condensateur.

Un capteur de niveau capacitif peut être assimilé à un condensateur de capacité C dont la valeur peut varier en fonction du niveau de liquide.
On effectue la charge du condensateur de capacité C, initialement déchargé, dans un circuit contenant un conducteur ohmique de résistance R = 330 kΩ et un générateur délivrant une tension E = 5,0 V aux bornes du dipôle RC.

La **Figure 2** précise les conventions d'orientation utilisées pour représenter la tension E aux bornes du générateur, la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique, la tension u_C aux bornes du condensateur ainsi que l'intensité i du courant circulant dans le circuit.

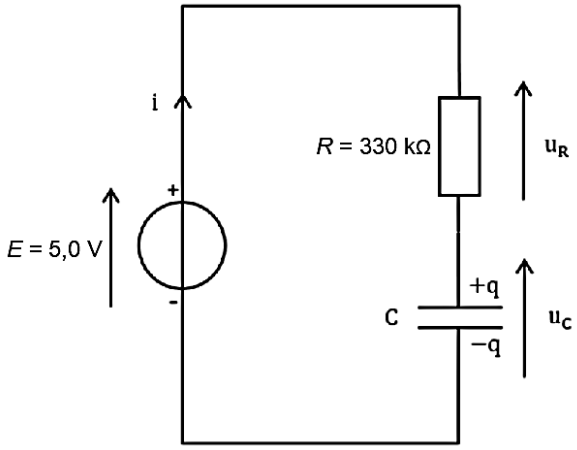


Figure 2. Conventions d'orientation utilisées pour l'intensitié du courant et les tensions.

Q1. Justifier que l'intensité *i* du courant peut s'exprimer en fonction de la tension u_C aux bornes du condensateur et de la capacité *C* du condensateur par la relation :

$$i = C \times \frac{du_C}{dt}.$$

Q2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur lors de la charge sous une tension *E*.

La solution de cette équation différentielle est de la forme suivante : $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$, où $\tau = R.C$ est la constante de temps du circuit étudié.

Q3. Vérifier par un calcul que la tension $u_C(\tau)$ aux bornes du condensateur a atteint, à l'instant $t = \tau$, 63 % de sa valeur maximale et déterminer la valeur de la tension $u_C(\tau)$.

Q4. Préciser l'influence de la capacité *C* sur la durée de charge complète du condensateur.

Partie B : Détermination du volume d'huile contenu dans un fût métallique.

La capacité *C* du condensateur dépend de la hauteur *h* d'huile dans le condensateur. Le condensateur est branché en série avec un conducteur ohmique. Le dipôle RC, ainsi constitué, est connecté à une sortie d'un microcontrôleur qui permet d'effectuer des charges et décharges successives du condensateur.

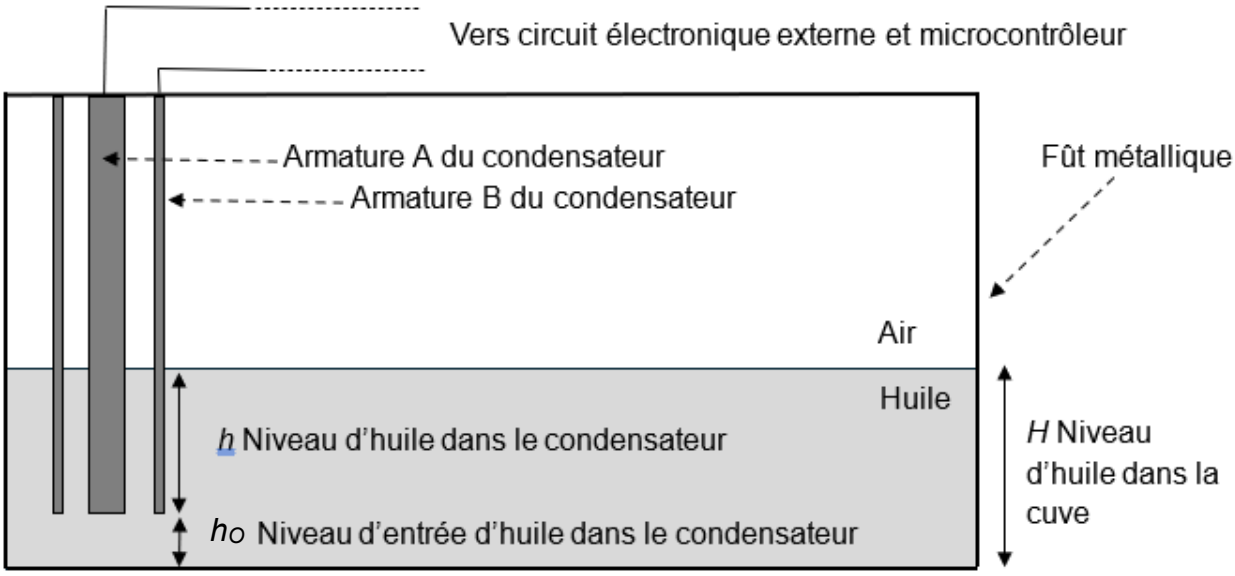


Figure 3. Schéma du dispositif de mesure dans le fût métallique.

Une deuxième entrée du microcontrôleur permet de suivre l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur au cours du temps représentée sur la **Figure 4**.

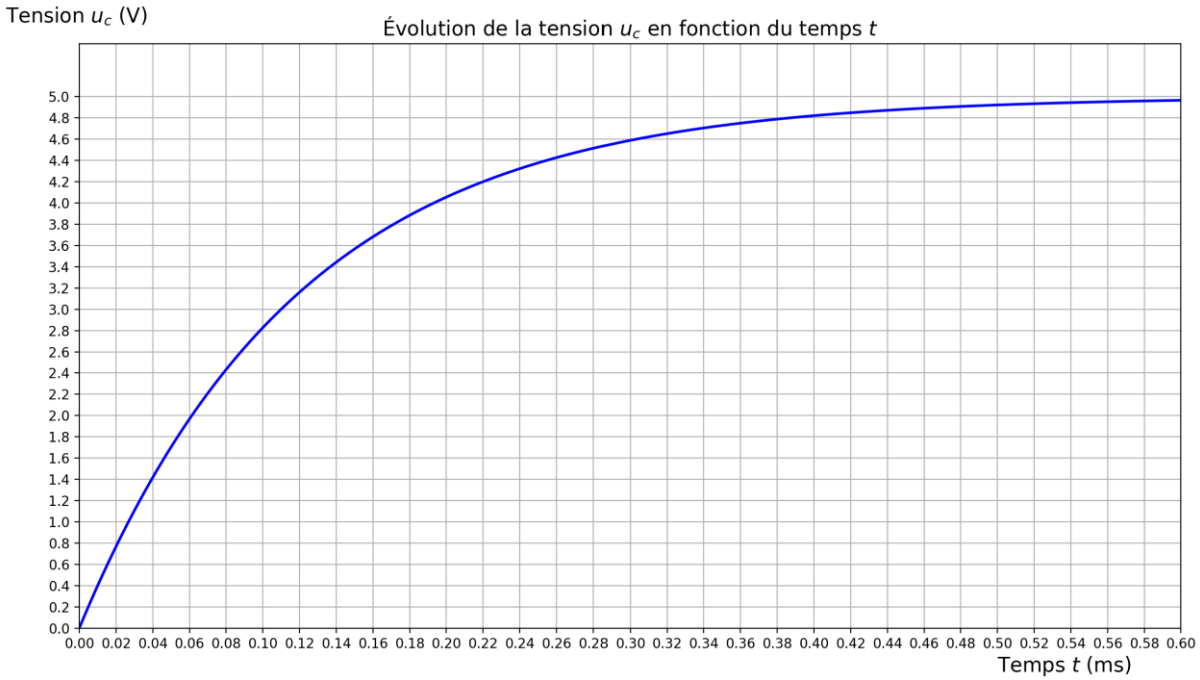


Figure 4. Courbe d'acquisition de la tension u_C en fonction du temps t.

Q5. En utilisant la **Figure 4**, montrer que la valeur de la constante de temps τ correspondant à la charge du capteur capacitif est voisine de $1{,}2 \times 10^{-4}$ s. Expliquer la méthode utilisée en s'appuyant sur un schéma.

On a préalablement mesuré à l'aide d'un capacimètre, la capacité C du capteur pour différentes hauteurs h d'huile dans le capteur.

On obtient alors la courbe d'étalonnage de la capacité C en fonction de la hauteur h dans le condensateur (**Figure 5**).

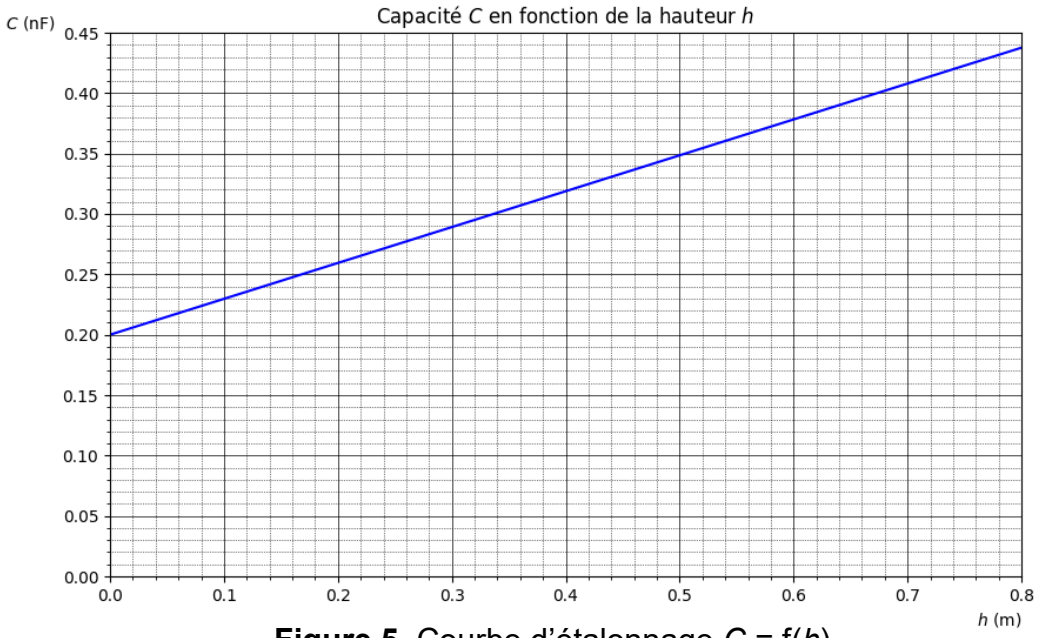


Figure 5. Courbe d'étalonnage C = f(h)

Données :

- Le fût métallique est considéré comme un cylindre de diamètre D = 0,610 m ;
- Volume d'un cylindre V (en m^3) de diamètre D (en m) et de hauteur H (en m) :

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \text{ ;}$$

- Niveau d'entrée d'huile dans le capteur : h_0 = 4,4 cm ;
- Résistance du circuit RC : R = 330 kΩ.

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

Q6. À l'aide des **Figures 4 et 5** et des données précédentes, calculer la valeur du volume d'huile V_H contenu dans le fût métallique, lors de l'enregistrement représenté en **Figure 4**.

EXERCICE 3 – LE JAVELOT TIR SUR CIBLE (5 points)

Le « javelot tir sur cible » est un jeu populaire du nord de la France dans lequel le joueur envoie deux javelots (sortes de grosses fléchettes) sur une cible verticale en se plaçant à 8 m de celle-ci. La cible est composée de deux cercles concentriques : un rouge à l'extérieur et un blanc au centre.

D'après « *jeuxpicards.org* »

L'objectif de cet exercice est d'étudier la trajectoire du javelot lors d'un lancer.

On s'intéresse au mouvement du javelot assimilé à un point matériel M lorsque le joueur le lance. L'étude est réalisée dans un référentiel terrestre supposé galiléen. Le mouvement a lieu dans le plan (xOz) présenté sur la **Figure 1**. Les forces de frottements et la poussée d'Archimède sont négligées tout au long de l'exercice. Lorsque le javelot, de masse *m*, quitte la main du joueur, son centre de masse se situe en M_0 à une hauteur *H* par rapport au sol avec un vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ qui forme un angle α avec l'horizontale.

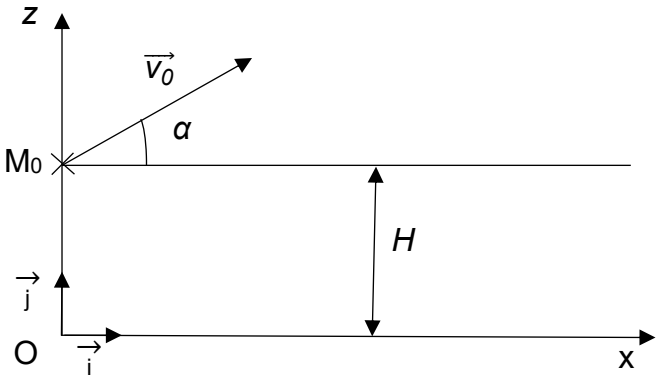


Figure 1. Schéma du lancer de javelot

Données :

- Masse du javelot : m = 300 g ;
- Intensité de la pesanteur : g = 9,81 N·kg^{-1}.
- Distance entre le lanceur et la cible : d = 8 m.

Q1. Énoncer la deuxième loi de Newton et l'appliquer en effectuant un bilan des forces qui s'exercent sur le système au cours du lancer de javelot.

Q2. Déterminer l'expression des coordonnées $a_x(t)$ et $a_z(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}$(t) du point M au cours du temps.

Q3. Déterminer l'expression des coordonnées $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}$(t) du point M au cours du temps.

Q4. Montrer que les équations horaires du mouvement $x(t)$ et $z(t)$ du point M au cours du temps ont pour expression :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \ (\cos\alpha)\ t \\ z(t) = -\dfrac{1}{2} g\, t^2 + v_0 \ (\sin\alpha)\ t + H \end{cases}$$

Q5. Démontrer que la trajectoire du point M au cours du temps a pour trajectoire :

$$z(x) = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + (\tan \alpha)\, x + H$$

Le lancer d'un joueur est enregistré et les positions prises par le javelot au cours du temps sont pointées. Un programme Python permet de modéliser la trajectoire du javelot (**Figure 2**).

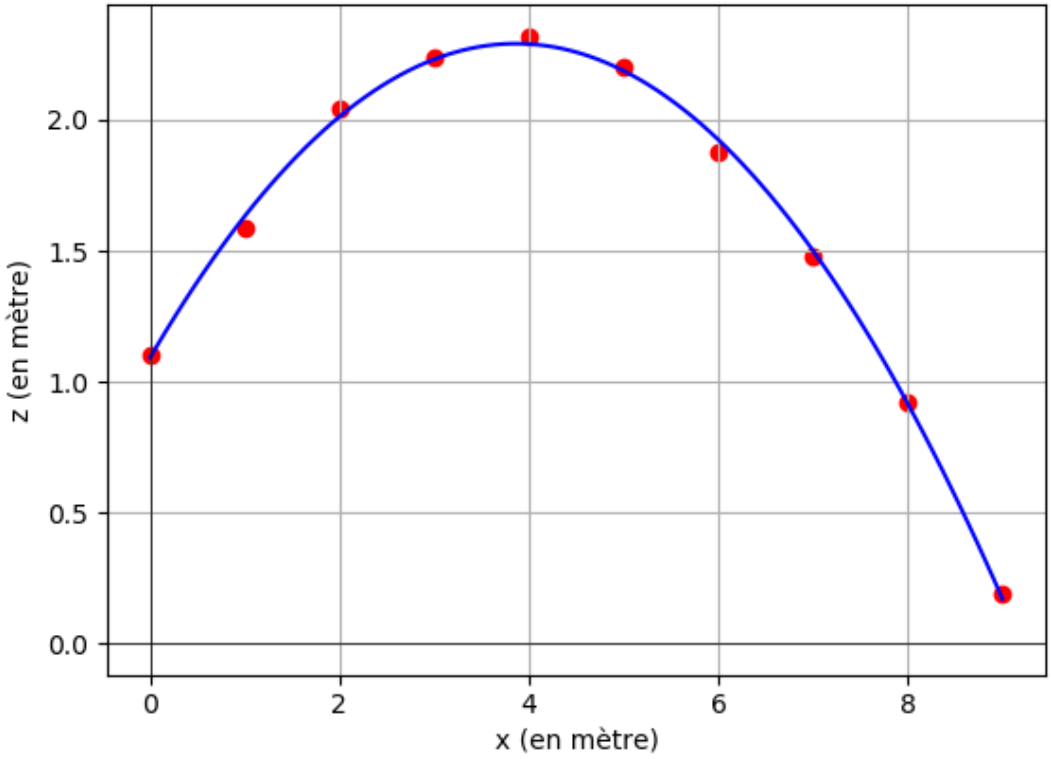


Figure 2. Trajectoire du javelot

La trajectoire du javelot est modélisée par une courbe d'équation :

$$z = -0{,}081\, x^2 + 0{,}62\, x + 1{,}1$$

dans laquelle les paramètres z et x sont exprimés en m.

Q6. Déduire de cette modélisation la hauteur initiale H du javelot à l'instant du lancer à $t = 0$.

Q7. Montrer que l'angle avec lequel le javelot a été lancé par rapport à l'horizontale vaut $\alpha = 32°$ et que la vitesse initiale du lancer est de $v_0 = 9{,}2$ m·s^{-1}.

Le centre de la cible se situe à 85 cm du sol :
Quand le javelot se plante dans le cercle blanc mesurant 6 cm de diamètre, le joueur reçoit 2 points. Quand le javelot se plante dans la couronne circulaire mesurant 21 cm de diamètre extérieur et 6 cm de diamètre intérieur, le joueur reçoit 1 point.

Q8. En utilisant l'équation modélisant la trajectoire, déterminer le nombre de points marqués par le joueur.