

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2026**

## PHYSIQUE-CHIMIE

**Jour 1**

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

### **Matériel autorisé**

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** 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 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

**Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.**

**Exercice 1 : Valorisation du dioxyde de carbone dans les cimenteries (9 points)**

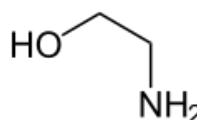
Le principe de la valorisation consiste à considérer le CO<sub>2</sub> comme une matière première. Le CO<sub>2</sub> est capté à la sortie des fumées industrielles, comme celles produites dans les cimenteries, et exploité pour réaliser des produits commercialement rentables. Chercheurs et industriels fondent beaucoup d'espoir sur la production de méthanol, un produit à haute valeur énergétique.

D'après *planete-energies.com*

Cet exercice s'intéresse tout d'abord au captage du dioxyde de carbone par l'éthanolamine, puis au contrôle qualité d'une solution d'éthanolamine et enfin à l'utilisation possible du dioxyde de carbone capté dans la production de méthanol.

**Données pour tout l'exercice :**

- Masse molaire de la molécule d'éthanolamine :  $M(\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}) = 61,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- Densité des solutions aqueuses d'éthanolamine :  $d = 1,0$  ;
- Masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  ;
- Couple acide-base de l'éthanolamine :  $\text{C}_2\text{H}_8\text{NO}^+(\text{aq}) / \text{C}_2\text{H}_7\text{NO}(\text{aq})$  ;
- $\text{p}K_{\text{A}}(\text{C}_2\text{H}_8\text{NO}^+ / \text{C}_2\text{H}_7\text{NO}) = 9,5$  ;
- $K_{\text{e}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-]}{(c^\circ)^2} = 1,0 \times 10^{-14}$  avec  $c^\circ = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ;
- Formule topologique de la molécule d'éthanolamine :

**1. Captage de la molécule de dioxyde de carbone par la molécule d'éthanolamine**

Pour réduire ses émissions, l'industrie cimentière cherche à capter le dioxyde de carbone produit par ses usines. Le procédé chimique le plus couramment utilisé est le lavage aux amines. Ce procédé permet d'isoler le CO<sub>2</sub> présent dans les gaz de combustion libérés lors de fabrication du ciment.

Le lavage aux amines repose sur une réaction acido-basique entre le dioxyde de carbone et une solution aqueuse contenant environ 20 % en masse d'éthanolamine, une base faible.

Cette transformation est non-totale.

## Exercice 1

**Q.1.** Reproduire, sur la copie, la formule topologique de la molécule d'éthanolamine. Entourer les groupes caractéristiques de la molécule puis nommer les familles fonctionnelles associées.

On considère un volume  $V = 1,0 \text{ L}$  d'une solution d'éthanolamine à 20 % en masse.

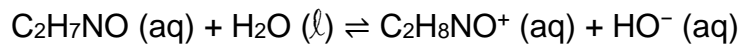
**Q.2.** Vérifier que la valeur de la concentration en quantité de matière  $C$  de la solution aqueuse d'éthanolamine à 20 % est de  $3,3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

La mesure du pH de la solution donne  $\text{pH} = 11$ .

**Q.3.** Représenter le diagramme de prédominance du couple acide-base de l'éthanolamine.

**Q.4.** Préciser, en justifiant, sous quelle forme acide ou basique est présente l'éthanolamine dans la solution.

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



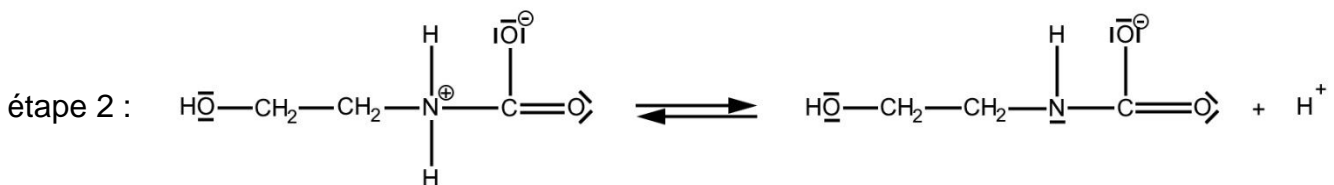
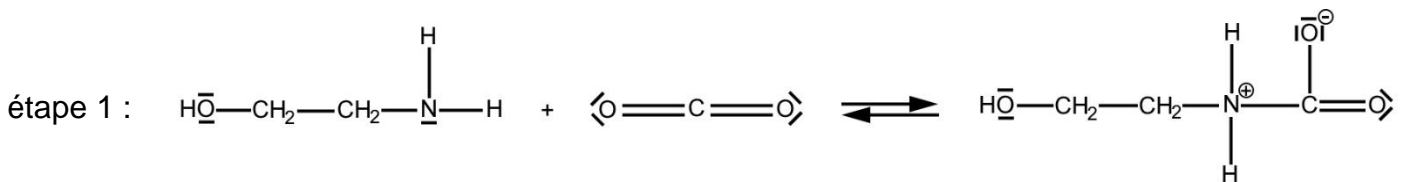
**Q.5.** Donner l'expression du taux d'avancement  $\tau$  de la réaction étudiée en fonction de l'avancement final  $x_f$  et de l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$ .

**Q.6.** Exprimer l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  en fonction de  $C$  et  $V$ . Le candidat pourra s'appuyer, si besoin, sur un tableau d'avancement.

**Q.7.** Montrer que le taux d'avancement  $\tau$  peut s'exprimer :  $\tau = \frac{K_e \cdot c^\circ}{C \cdot 10^{-\text{pH}}}$

**Q.8.** Calculer la valeur du taux d'avancement  $\tau$  et la commenter par rapport à la force de la base.

On s'intéresse à une partie du mécanisme réactionnel de la réaction de captage du dioxyde de carbone par l'éthanolamine dont les premières étapes sont données ci-dessous :



**Q.9.** Identifier un intermédiaire réactionnel en justifiant la réponse.

**Q.10.** Recopier l'étape 1 et représenter par des flèches courbes le déplacement d'électrons. Justifier leur sens.

## 2. Contrôle qualité d'une solution d'éthanolamine

L'éthanolamine peut s'altérer au fil du temps, entraînant une diminution progressive de sa concentration. Un technicien souhaite s'assurer que la solution aqueuse S d'éthanolamine dont il dispose peut être utilisée pour le captage du dioxyde de carbone. Pour cela, il réalise un titrage pH-métrique.

La solution S est préalablement diluée 50 fois. La solution obtenue est notée S<sub>50</sub>.

**Q.11.** Choisir le matériel qui permet de préparer 250,0 mL de solution S<sub>50</sub> à partir de la solution S en justifiant la verrerie choisie.

Verrerie à disposition :

- Bêchers : 50 mL, 100 mL, 250 mL ;
- Pipettes jaugées : 5,0 mL, 10,0 mL, 20,0 mL ;
- Pipettes graduées : 5,0 mL, 10,0 mL ;
- Éprouvettes graduées : 20 mL, 100 mL, 250 mL ;
- Fioles jaugées : 50,0 mL, 100,0 mL, 250,0 mL.

Le technicien dose par titrage avec suivi pH-métrique un volume  $V_B = 25,0$  mL de solution diluée S<sub>50</sub>. La solution titrante est de l'acide chlorhydrique de concentration  $C_A = 0,10$  mol·L<sup>-1</sup>. La figure 1 ci-dessous présente l'évolution du pH du milieu réactionnel en fonction du volume versé de solution titrante.

L'équation de la réaction modélisant la transformation observée durant le dosage par titrage est :

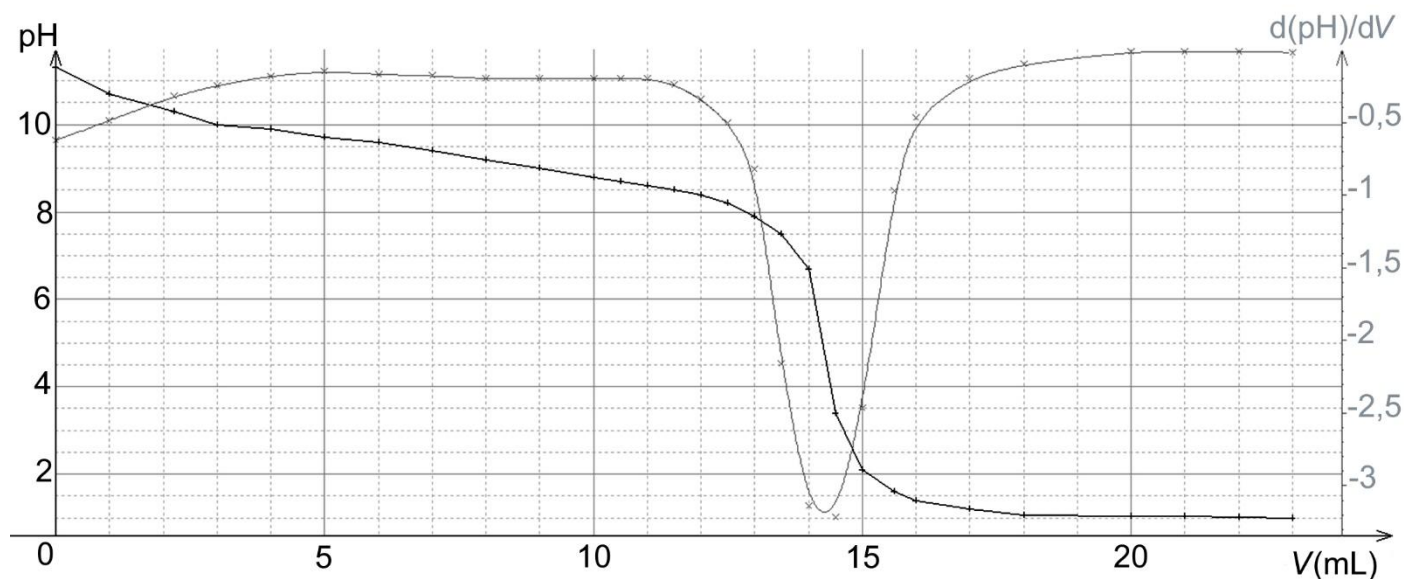
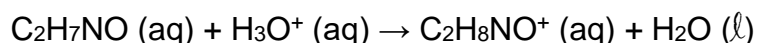


Figure 1 – Courbe de suivi pH-métrique du titrage de la solution S<sub>50</sub>

## Exercice 1

**Q.12.** Définir l'équivalence d'un titrage.

**Q.13.** Déterminer, à partir de la courbe de titrage, le volume  $V_E$  de solution titrante versé à l'équivalence. Expliquer la méthode employée.

**Q.14.** En déduire la valeur du titre massique en éthanolamine, en %, de la solution S.

*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.*

La concentration en éthanolamine influence l'efficacité du captage : une concentration trop faible réduit la performance, une concentration trop élevée accroît les risques de corrosion des équipements.

Titre massique en éthanolamine	15 %	20 %	25 %	30 %
Efficacité de captation du CO <sub>2</sub>	Faible	Bonne	Bonne à très bonne	Très bonne
Tolérance à la corrosion des équipements	Très bonne	Acceptable	Risques accrus	Très mauvaise

D'après Wang N., Wang D., Krook-Riekkola A., Ji X. (2023). MEA-based CO<sub>2</sub> capture. *Front. Energy Res.*, 11:1230743 (doi.org/10.3389/fenrg.2023.1230743)

**Q.15.** Commenter le résultat en discutant la possibilité d'utiliser cette solution d'éthanolamine pour capter le dioxyde de carbone.

### 3. Production de méthanol à partir du dioxyde de carbone capté

Le méthanol (CH<sub>3</sub>OH) peut être obtenu par réaction entre le dioxyde de carbone et le dihydrogène ; il se forme également de l'eau. La transformation est totale.

**Q.16.** Écrire l'équation de la réaction modélisant la formation du méthanol.

En France, le projet EDF-Hynovi prévoit la fabrication de 200 000 tonnes de méthanol de synthèse par an à partir du CO<sub>2</sub> d'une cimenterie. La quantité de dihydrogène nécessaire est de 37 500 tonnes. Pour produire le dihydrogène, l'usine prévoit d'utiliser des électrolyseurs dont la puissance totale est de 330 MW. L'énergie nécessaire à la production d'un kilogramme de dihydrogène est de 55 kW·h.

**Q.17.** Déterminer la durée nécessaire à la production des 37 500 tonnes de dihydrogène.

**Q.18.** En déduire si la puissance des électrolyseurs est suffisante pour la production attendue.

## Exercice 2 : L'effet photoélectrique et ses applications (6 points)

### 1. Une approche historique de l'effet photoélectrique

En 1902, le physicien allemand Lenard a travaillé sur l'effet photoélectrique en réalisant l'expérience suivante : deux électrodes métalliques, séparées d'une distance  $d$ , sont placées face à face dans un tube à vide. Une des deux électrodes est éclairée par des radiations lumineuses de fréquence et d'intensité réglables. Le physicien observe une intensité non nulle au-dessus d'une certaine fréquence appelée fréquence seuil.

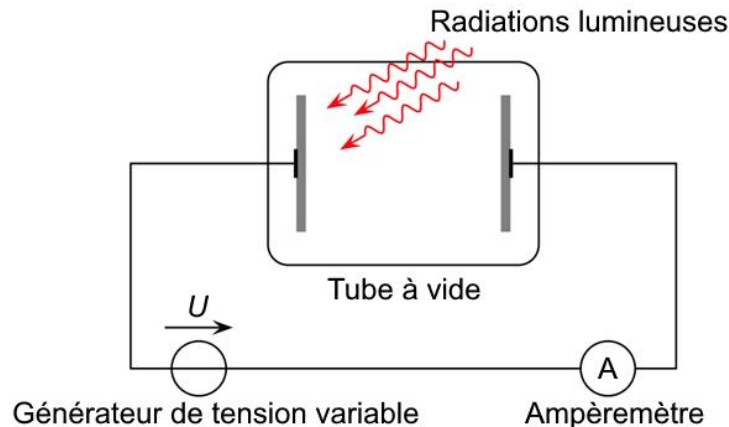


Figure 1 – Schéma de l'expérience

#### Données :

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s ;
- Travail d'extraction du zinc :  $W_{\text{ext}}(\text{Zn}) = 4,3$  eV ;
- Masse d'un électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg ;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$  J ;
- La vitesse de la lumière dans le vide  $c$  est supposée connue ;
- Relation donnant l'énergie d'un photon :  $E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ .

**Q.1.** Décrire l'effet photoélectrique.

**Q.2.** Calculer la fréquence seuil  $\nu_s$  permettant une émission photoélectrique pour le zinc.

**Q.3.** En déduire la longueur d'onde correspondante et préciser le domaine des ondes électromagnétiques auquel elle appartient.

On éclaire la plaque de zinc avec une radiation de longueur d'onde  $\lambda = 250$  nm.

**Q.4.** Justifier que l'effet photoélectrique se produit.

**Q.5.** Montrer, en réalisant un bilan d'énergie, que l'expression de la vitesse d'éjection  $v$  des électrons en fonction de la fréquence  $\nu$ ,  $\nu_s$ ,  $h$  et  $m_e$ , est égale à  $v = \sqrt{\frac{2h(\nu - \nu_s)}{m_e}}$ .

**Q.6.** Calculer la valeur de cette vitesse.

**Q.7.** Identifier le paramètre de la radiation qui a une influence sur la valeur de la vitesse. Préciser le sens dans lequel il faut le modifier pour augmenter la valeur de la vitesse.

## 2. Étude d'un panneau photovoltaïque

### Donnée :

- Puissance lumineuse reçue :  $P_{\text{lum}} = E \times S$ , avec  $E$  l'éclairement en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  et  $S$  la surface utile du convertisseur en  $\text{m}^2$ .

Les cellules photovoltaïques installées sur le toit des habitations fonctionnent grâce à l'effet photoélectrique. Un particulier souhaite poser des panneaux sur sa toiture afin de diminuer sa facture d'électricité. Un installateur lui propose des panneaux rectangulaires de 1 346 mm de longueur et 1 112 mm de largeur.

Les graphiques de la figure 2 représentent, pour différents éclairements, l'évolution de l'intensité  $I$  et de la puissance électrique  $P$  fournis par le panneau en fonction de la tension  $U$  aux bornes du panneau :

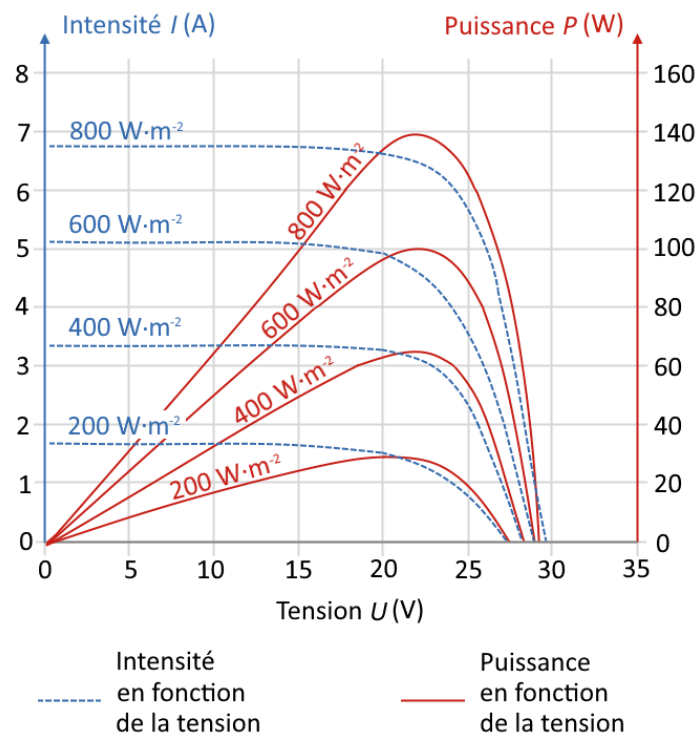


Figure 2 – Caractéristiques du panneau photovoltaïque

**Q.8.** Calculer la valeur du rendement d'un panneau photovoltaïque dans les conditions optimales de fonctionnement, pour un éclairement moyen de  $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

La consommation annuelle de ce particulier est de  $7\,500 \text{ kW}\cdot\text{h}$ . Il souhaite que la moitié de cette consommation soit couverte par les panneaux photovoltaïques. Le rendement moyen annuel de chaque panneau est d'environ 10 %.

**Q.9.** Déterminer le nombre de panneaux à installer, sachant que l'énergie surfacique moyenne reçue chaque jour est d'environ  $4,1 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$  dans la région. Commenter le résultat.

*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.*

**Exercice 3 : La Wemba-mania (5 points)**

Victor Wembanyama, célèbre joueur français de basket, évoluait au Metropolitans 92 lors du championnat 2022-2023 lorsqu'il a effectué ce lancer franc au cours d'un match contre Monaco (voir figure 1).

Au basket, les joueurs doivent marquer un panier en se tenant derrière la ligne de lancer franc située à 4,2 m du centre du panier.

On étudie dans cet exercice cette phase de jeu. L'analyse sera menée dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On s'intéresse à la trajectoire du centre d'inertie  $G$  du ballon. On considère que le ballon, de masse  $m$ , est uniquement soumis à son poids.

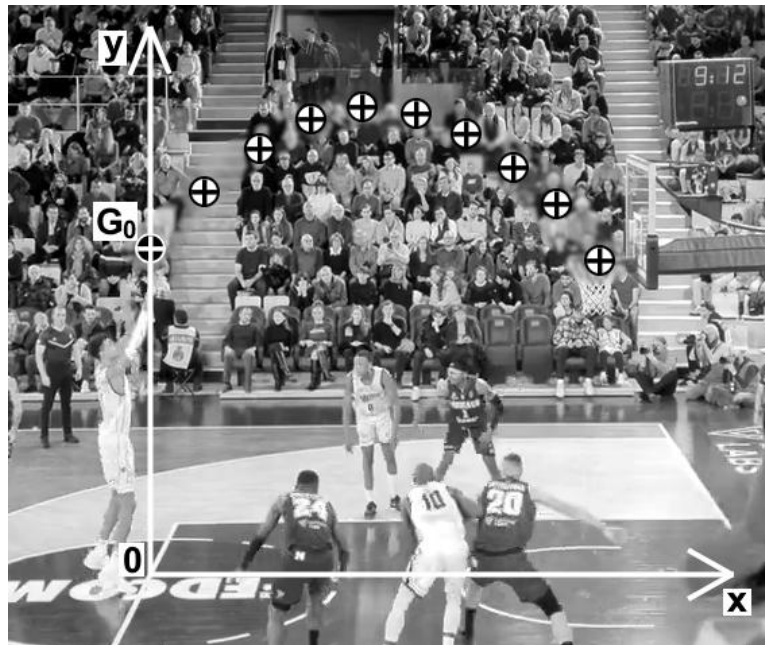


Figure 1 – Chronophotographie du lancer franc

**Données :**

- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  ;
- Diamètre du ballon :  $d = 25 \text{ cm}$  ;
- Diamètre du panier :  $D = 0,45 \text{ m}$  ;
- Distance au sol du cerceau métallique du panier :  $h = 3,05 \text{ m}$ .

### Exercice 3

La trajectoire du centre du ballon est étudiée dans le plan vertical perpendiculaire au sol passant par la main du basketteur au moment où il lâche le ballon et par le centre du panier. On utilise le repère  $(xOy)$  indiqué sur la figure 1.

Le ballon quitte la main du joueur à la date  $t = 0$  s, au point  $G_0$  de coordonnées  $x_0 = 0$  m et  $y_0 = h = 3,05$  m.

À partir de la vidéo du lancer franc, le pointage des positions du centre d'inertie  $G$  du ballon permet d'obtenir la chronophotographie de la figure 1. Les données sont traitées par un logiciel pour obtenir les courbes des figures 2 et 3.

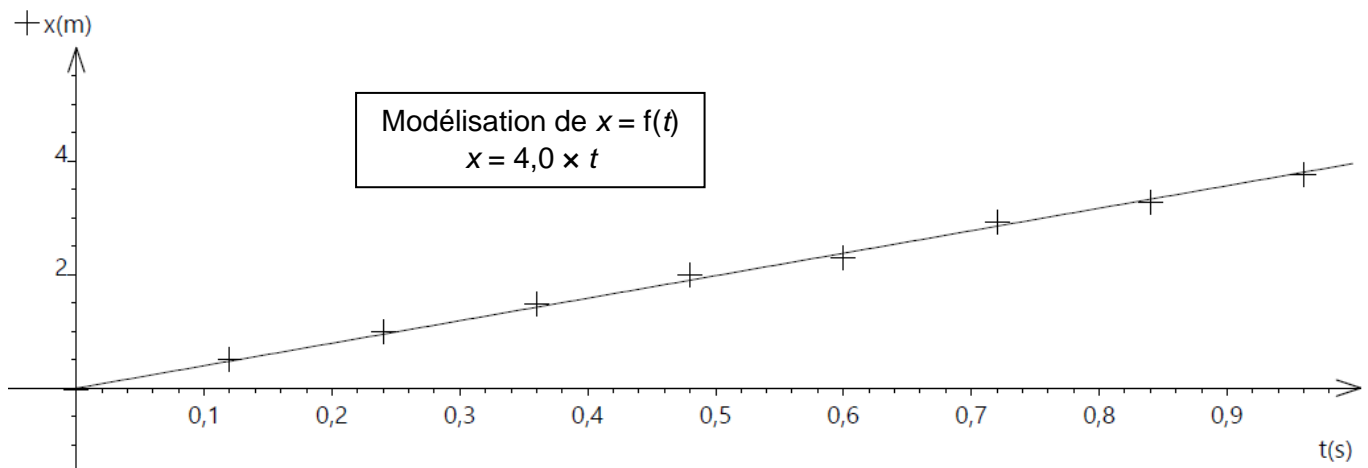


Figure 2 – Évolution de la coordonnée  $x$  du ballon en fonction du temps  $t$

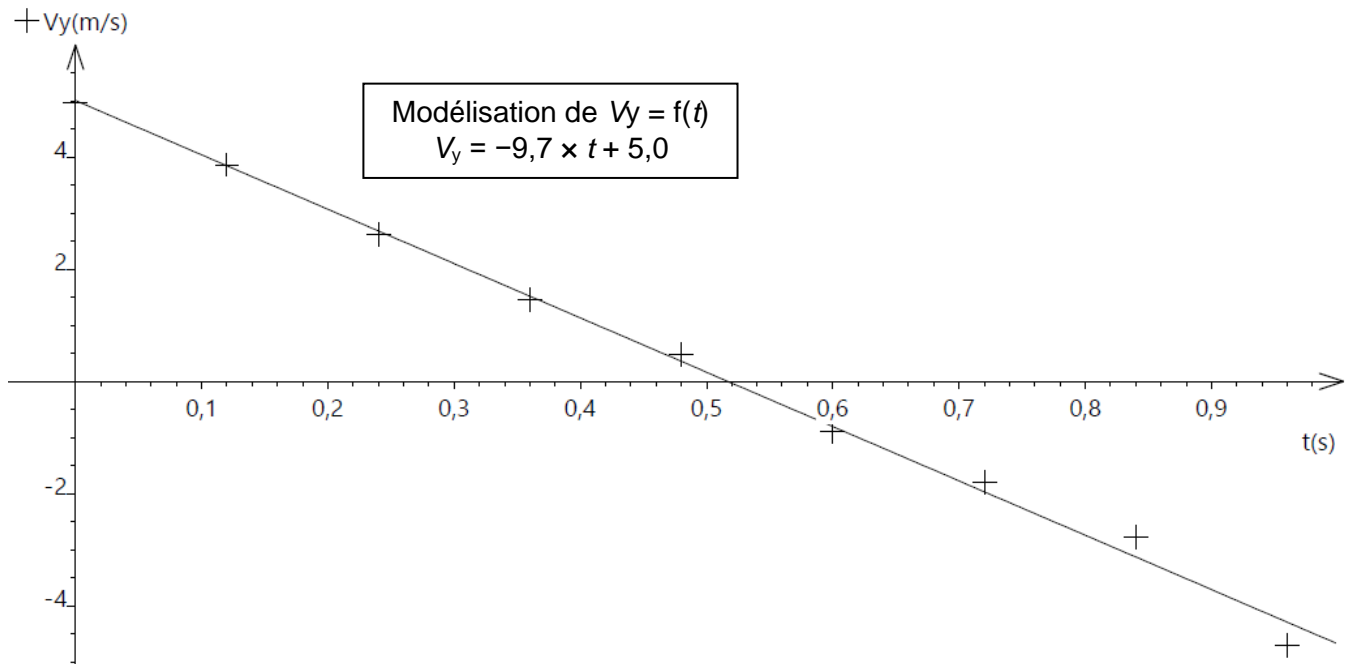


Figure 3 – Évolution de la coordonnée  $v_y$  de la vitesse du ballon en fonction du temps  $t$

### Exercice 3

- Q.1.** Donner, en justifiant, la nature du mouvement du ballon selon l'axe Ox.
- Q.2.** Déterminer, à l'aide de la figure 2, la valeur de la coordonnée  $v_x$  du vecteur vitesse  $\vec{v}$ .
- Q.3.** Déterminer, à l'aide de la figure 3, la valeur de la coordonnée  $v_{y0}$  du vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$ .
- Q.4.** En déduire la valeur de la vitesse initiale  $v_0$  et de l'angle  $\alpha$  que fait le vecteur vitesse initiale avec l'horizontale, défini sur la figure 1.
- Q.5.** Exprimer les coordonnées  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur accélération  $\vec{a}$  du point G du ballon en utilisant la loi de Newton.
- Q.6.** Montrer que les équations temporelles des coordonnées de la position du ballon s'expriment selon :

$$x(t) = 4,0 \times t$$

$$y(t) = -4,9 \times t^2 + 5,0 \times t + 3,05$$

- Q.7.** Montrer que la trajectoire du ballon peut être modélisée par :  $y = -0,31x^2 + 1,3x + 3,05$
- Q.8.** Déterminer si le lancer franc est réussi sans toucher le cercle métallique du panier. La réponse doit s'appuyer sur des calculs.

*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 doit être correctement présentée.*

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2026**

## PHYSIQUE-CHIMIE

**Jour 2**

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

### **Matériel autorisé**

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** 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 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

Le candidat traite **l'intégralité du sujet**, qui se compose de **3 exercices**.

**ATTENTION** : l'annexe (page 10/10) est à rendre avec la copie.

## Exercice 1 : « J'ai froid aux pieds sur le carrelage, je préfère le parquet ! » (11 points)

Alors que les températures des deux sols sont identiques, on ressent que l'un des deux est plus froid que l'autre !

Cette sensation est liée à l'effusivité des matériaux.

Selon Jean-Claude Krapez, ingénieur de recherche, auteur d'une thèse sur le sujet :

« L'effusivité d'un matériau caractérise la vitesse avec laquelle il peut échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Lorsque son effusivité thermique est forte, un matériau absorbe rapidement de l'énergie thermique sans se réchauffer notablement en surface (cas de la pierre, de l'acier, du carrelage), et inversement lorsque son effusivité thermique est faible le matériau se réchauffe très rapidement sur la surface de contact avec une source chaude. Ce qui signifie que ce genre de matériaux n'absorbe pas beaucoup d'énergie thermique et que cette dernière reste en surface, comme c'est le cas pour le bois ».



La température de contact qui sera ressentie par le pied se détermine en utilisant l'effusivité des matériaux en contact.

Pour reproduire cette expérience au laboratoire afin de bien comprendre ce phénomène, on utilise un morceau de carrelage, un morceau de bois de parquet et une poche en silicone. La poche en silicone permet ainsi de simuler un pied nu car elle possède des propriétés mécaniques et thermiques similaires au dessous du pied.

### 1. Détermination de l'effusivité d'un matériau

#### Données :

- Effusivité  $E$  d'un matériau :  $E = \sqrt{\lambda \times c_v}$  avec :
  - $\lambda$  : conductivité thermique du matériau (en  $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ;
  - $c_v$  : capacité thermique volumique du matériau (en  $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$ ).
- $c_v = \frac{C}{V}$  avec :
  - $C$  : capacité thermique du morceau de matériau utilisé en  $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$  ;
  - $V$  : volume du morceau de matériau en  $\text{m}^3$ .
- Conductivités thermiques des matériaux :
  - $\lambda_{\text{bois}} = 0,14 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
  - $\lambda_{\text{carrelage}} = 1,3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
  - $\lambda_{\text{silicone}} = 0,80 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Capacité thermique de l'eau en  $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$  :  $C_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}}$ , avec :
  - $c_{\text{eau}}$  : capacité thermique massique de l'eau,  $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  ;
  - $m_{\text{eau}}$  : masse de l'eau en kg.
- $T$  : température en kelvin ;
- $\theta$  : température en degré Celsius ;

## Exercice 1

- Variation de l'énergie interne d'un système incompressible :  $\Delta U = C \times \Delta T$  avec :  
C : capacité thermique du système ;  
 $\Delta T$  : variation de température du système.
- Rappel :  $\sqrt{a} = a^{1/2}$ .

**Q.1.** Montrer que l'effusivité s'exprime en  $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$ .

Les conductivités thermiques  $\lambda$  des matériaux étant données, on cherche à obtenir les capacités thermiques volumiques des matériaux à partir d'une mesure de C et de V du morceau choisi.

On choisit de déterminer  $C_{\text{carrelage}}$ , la capacité thermique du morceau de carrelage, par calorimétrie.

On considère que dans un calorimètre, on néglige tout travail et tout transfert thermique avec l'extérieur.

On place 720 g d'eau à 25,4 °C dans le calorimètre. On y insère le morceau de carrelage à 39,7 °C. On relève la température finale d'équilibre thermique au bout de quelques dizaines de secondes, le temps que les transferts thermiques se fassent. On relève une température finale de 25,9 °C.

On considère le système {eau + carrelage} dans le calorimètre.

**Q.2.** Indiquer le sens dans lequel s'opère le transfert thermique entre le corps chaud et le corps froid.

**Q.3.** Rappeler le premier principe de la thermodynamique et en définir tous les termes ainsi que leurs unités. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système dans le calorimètre.

**Q.4.** Montrer que la variation d'énergie interne de l'eau dans le calorimètre vaut  $1,50 \times 10^3 \text{ J}$ .

**Q.5.** En déduire que la capacité thermique du morceau de carrelage vaut  $C_{\text{carrelage}} = 109 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Pour l'étude de la capacité thermique du carrelage, on utilise un morceau de carrelage de volume  $5,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ .

**Q.6.** Calculer la valeur de la capacité thermique volumique du carrelage  $c_{v \text{ carrelage}}$ .

**Q.7.** Montrer que l'effusivité du carrelage vaut  $E_{\text{carrelage}} = 1,60 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$ .

On mesure dans les mêmes conditions d'expérience  $E_{\text{bois}} = 0,476 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$

**Q.8.** Justifier la cohérence des valeurs d'effusivité des matériaux par rapport au texte d'introduction.

## Exercice 1

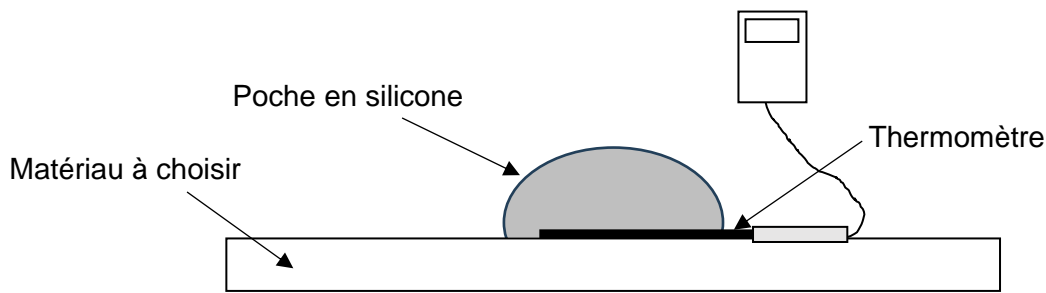
### 2. Mesure et calcul de la température de contact

#### Données :

- $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$  ;
- Effusivités des matériaux :  $E_{\text{silicone}} = 0,756 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$  ;  
 $E_{\text{bois}} = 0,476 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$  ;  
 $E_{\text{carrelage}} = 1,60 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$ .

Pour mesurer la température moyenne de contact entre la poche en silicone chauffée à environ  $34^{\circ}\text{C}$  (comme pour un pied réel) et un morceau de carrelage (ou un morceau de bois), dont on relève au préalable la température, on intercale un thermomètre entre le carrelage (ou le bois) et la poche en silicone.

On atteint au bout de quelques secondes l'équilibre thermique et on mesure la température de contact. L'incertitude type associée à chaque mesure de température vaut  $0,2^{\circ}\text{C}$ .



Pour calculer  $T_{\text{calcul.AB}}$  la température de contact thermique entre deux matériaux A et B, on utilise la relation :

$$T_{\text{calcul.AB}} = \frac{E_A \times T_A + E_B \times T_B}{E_A + E_B}$$

avec  $E_A$  et  $E_B$  les effusivités des matériaux A et B en contact thermique et  $T_A$  et  $T_B$  leurs températures respectives initiales en kelvin.

Dans le cas du contact silicone-bois, les températures initiales sont :  $\theta_{i \text{ silicone}} = 34,1^{\circ}\text{C}$  et  $\theta_{i \text{ bois}} = 19,6^{\circ}\text{C}$ , la température de contact mesurée entre le silicone et le bois notée  $\theta_{\text{mesure.SB}}$  s'établit au bout de quelques secondes à  $\theta_{\text{mesure.SB}} = 28,3^{\circ}\text{C}$ .

**Q.9.** Exprimer la valeur de  $T_{\text{mesure.SB}}$  en kelvin.

**Q.10.** Calculer la valeur de la température de contact théorique notée  $T_{\text{calcul.SB}}$  entre la poche de silicone et le bois.

Dans le cas du contact silicone-carrelage, on trouve expérimentalement  $T_{\text{mesure.SC}} = 297,2 \text{ K}$  et on calcule  $T_{\text{calcul.SC}} = 297,4 \text{ K}$ .

**Q.11.** Comparer les valeurs des températures de contact mesurées  $T_{\text{mesure.SB}}$  et  $T_{\text{mesure.SC}}$  avec celles des températures de contact calculées  $T_{\text{calcul.SB}}$  et  $T_{\text{calcul.SC}}$  et conclure.

**Q.12.** Expliquer les raisons de la sensation décrite dans le titre de l'exercice.

### 3. Transfert conducto-convectif

On étudie le refroidissement à l'intérieur du pied.

Pour cela, on immerge la poche de silicone, transpercée jusqu'à son centre par un thermomètre relié à une interface d'acquisition, dans un mélange eau liquide/glace constituant ainsi un thermostat à 0 °C.

Le suivi de la température dure trois heures, les mesures sont faites toutes les 7,2 secondes.

**Q.13.** Préciser quel transfert thermique supplémentaire, lié à la présence d'eau liquide, apparaît dans le thermostat eau liquide/glace par rapport aux matériaux solides utilisés précédemment.

Le flux thermique entre la poche de silicone et le thermostat, dans le cas d'un transfert conducto-convectif, est donné par la loi de Newton, il s'écrit :

$$\phi = h_{\text{eau-silicone}} \times S \times (\theta_T - \theta), \text{ avec}$$

- $h_{\text{eau-silicone}}$  : coefficient de transfert conducto-convectif entre l'eau et le silicone ; plus le coefficient de transfert conducto-convectif est grand plus le flux sera important ;
- $S$  : surface de contact entre poche en silicone et le thermostat ;
- $\theta$  : température du silicone dans la poche et  $\theta_T$  la température du thermostat.

**Q.14.** Donner l'expression du transfert thermique  $Q$  en fonction du flux thermique  $\phi$  pendant une durée très petite  $\Delta t$ .

**Q.15.** Montrer, par application du premier principe de la thermodynamique appliqué au silicone, que les variations de la température du silicone à l'intérieur de la poche peuvent être décrites par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{\tau} \times \theta = \frac{1}{\tau} \times \theta_T$$

avec  $\tau$  le temps caractéristique de transfert tel que :  $\tau = \frac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S}$

La solution donnant l'évolution de la température en fonction du temps a pour forme :

$$\theta(t) = (\theta(0) - \theta_T)e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_T$$

**Q.16.** Comparer les deux courbes obtenues **en annexe à rendre avec la copie** et commenter.

**Q.17.** Déterminer la valeur du temps caractéristique  $\tau$  par construction graphique à réaliser sur **l'annexe à rendre avec la copie**.

**Q.18.** Calculer la valeur de  $h_{\text{eau-silicone}}$  sachant que la poche utilisée a une capacité thermique  $C_{\text{silicone}} = 179 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$  et une surface totale immergée  $S = 0,0172 \text{ m}^2$ .

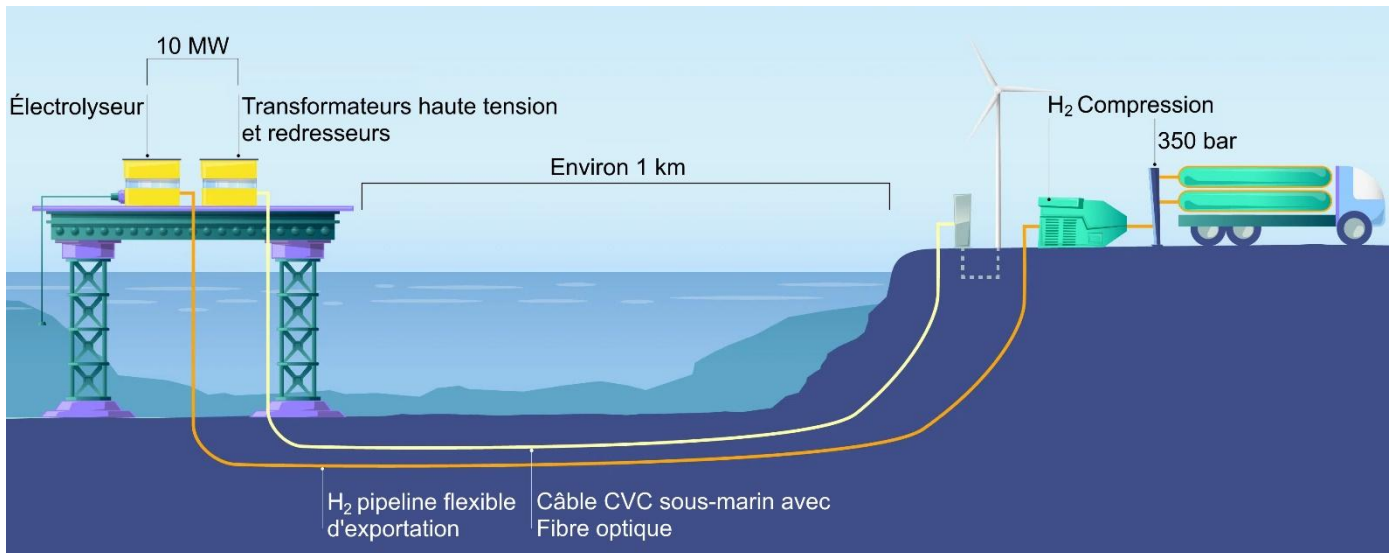
Le coefficient conducto-convectif entre l'air et le silicone vaut  $h_{\text{air-silicone}} = 3,51 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .

**Q.19.** Comparer les valeurs des deux coefficients conducto-convectifs et indiquer le fluide dans lequel le pied se refroidit le plus vite.

## Exercice 2 : HOPE, l'espoir du dihydrogène vert (5 points)

Le dihydrogène représente l'une des alternatives à l'usage des combustibles fossiles pour le transport de l'énergie. Cependant, 96 % de sa production se fait à partir de méthane : c'est le dihydrogène gris. Aujourd'hui, c'est le procédé le plus économique mais c'est aussi le plus polluant.

Un espoir apparaît avec HOPE (Hydrogen Offshore Production for Europe), projet de production de dihydrogène non polluant (dihydrogène vert) en pleine mer piloté par la start up française Lhyfe. On utilise un électrolyseur pour produire du dihydrogène vert par électrolyse de l'eau de mer.



D'après *smart-appart.fr*

### Données :

- Masses molaires atomiques :  $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;
- Charge élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ;
- Charge d'une mole d'électrons :  $F = N_A \times e = 96\,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- Couples d'oxydo-réduction mis en jeu dans la réaction :  $\text{H}^+(\text{aq}) / \text{H}_2(\text{g})$  et  $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$  ;
- $1 \text{ W}\cdot\text{h} = 3600 \text{ J}$  ;
- La relation entre la capacité (ou quantité d'électricité transférée)  $Q$  (en  $\text{A}\cdot\text{h}$ ) et la durée de transfert  $\Delta t$  (en h), pour une intensité électrique  $I$  (en A), est donnée par la relation :  $Q = I \times \Delta t$ .

Une éolienne flottante permet l'alimentation en énergie de la plateforme. Celle-ci possède une turbine qui a produit, au cours du mois de décembre 2023 une énergie électrique de 922 MW·h.

**Q.1.** Déterminer, en MW·h, l'énergie moyenne produite par l'éolienne chaque jour au mois de décembre 2023.

## Exercice 2

On réalise au laboratoire l'électrolyse de l'eau de mer. La tension  $U$  appliquée aux bornes de l'électrolyseur est de 4,74 V et le courant électrique  $I$  qui circule est de 7,25 mA pendant une durée  $\Delta t = 6 \text{ min } 47 \text{ s}$ .

- Q.2.** Compléter le document 2 de l'**annexe à rendre avec la copie (page 10)** en y faisant figurer le sens de circulation du courant électrique  $I$  et celui des électrons dans le circuit électrique.
- Q.3.** Écrire les demi-équations électroniques des deux couples d'oxydoréduction mis en jeu dans la réaction. Dans les encadrés de l'**annexe à rendre avec la copie (page 10)**, associer à chaque électrode de l'électrolyseur la demi-équation se produisant lors de l'électrolyse.
- Q.4.** En déduire l'équation de réaction modélisant la transformation qui a lieu au sein de l'électrolyseur.
- Q.5.** Exprimer en fonction de  $I$ ,  $\Delta t$  et  $F$  la quantité de matière d'électrons échangés dans cet électrolyseur. Calculer sa valeur.
- Q.6.** Montrer que la masse de dihydrogène produite vaut  $3,06 \times 10^{-5} \text{ g}$  dans l'électrolyseur du laboratoire.
- Q.7.** Calculer l'énergie nécessaire dans ces conditions pour récupérer 400 kg de dihydrogène, masse que l'industriel espère récupérer par jour.

*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 doit être correctement présentée.*

- Q.8.** Vérifier si ce résultat est cohérent avec le résultat trouvé dans la question Q.1. Commenter.

**Exercice 3 : La lessive de cendre (4 points)**

La lessive de cendre est une lessive maison très simple à fabriquer. Il suffit de tamiser les cendres de bois produites par un feu de cheminée puis d'en mettre l'équivalent d'un verre par litre d'eau, de laisser reposer et de filtrer le tout. On obtient ainsi une lessive écologique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier les caractéristiques chimiques de cette lessive pour déterminer la quantité à utiliser en machine à laver.

**1. Étude de l'ion carbonate**

Les cendres de bois contiennent de nombreuses espèces chimiques. Parmi elles, les ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  sont en quantité significative et possèdent des propriétés acido-basiques.

**Données :**

- couples acide-base :
  - dihydrogénocarbonate / ion hydrogénocarbonate :  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) / \text{HCO}_3^-(\text{aq})$  ;
  - ion hydrogénocarbonate / ion carbonate :  $\text{HCO}_3^-(\text{aq}) / \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  ;
  - couples de l'eau :  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$  ;  $\text{H}_2\text{O}(\ell) / \text{HO}^-(\text{aq})$ .
- masse molaire du carbonate de potassium :  $M(\text{K}_2\text{CO}_3) = 138,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- produit ionique de l'eau à 25 °C :  $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$  et  $\text{p}K_e = 14,0$ .

**Q.1.** Définir une espèce chimique basique selon Brönsted.

Pour étudier le comportement des ions carbonate de la lessive de cendre, on pèse au laboratoire une masse  $m = 3,0 \text{ g}$  de carbonate de potassium  $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{s})$  que l'on dissout dans une fiole jaugée de 100,0 mL. On obtient ainsi la solution aqueuse S.

**Q.2.** Calculer la concentration en quantité de matière des ions carbonate dans la solution S.

**Q.3.** Écrire et ajuster l'équation de la réaction acido-basique se produisant entre  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{H}_2\text{O}$ .

Le pH de la solution S est de 11,8.

**Q.4.** En déduire la concentration en ions hydroxyde  $\text{HO}^-$  dans la solution S.

**Q.5.** Comparer la concentration en ions hydroxyde à la concentration apportée en ions carbonate. En déduire que l'ion carbonate est une base faible, permettant d'assimiler la lessive de cendre à une solution d'ions carbonate.

## 2. Titrage des espèces basiques contenues dans la lessive de cendre

L'objectif de cette partie est de déterminer un encadrement du volume de lessive de cendre à introduire dans la machine à laver pour remplacer une lessive classique. Pour cela, on réalise un titrage des ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  présents dans la lessive de cendre.

### Données :

Pour une machine contenant 5 kg de linge, l'étiquette d'une lessive commerciale préconise, selon la dureté de l'eau du robinet, les quantités en espèces chimiques basiques suivantes :

Dureté de l'eau du robinet	Très douce	Douce	Dure	Très dure
Quantité d'espèces chimiques basiques à introduire	Entre $4,0 \times 10^{-3}$ mol et $5,0 \times 10^{-3}$ mol	Entre $5,0 \times 10^{-3}$ mol et $6,0 \times 10^{-3}$ mol	Entre $6,0 \times 10^{-3}$ mol et $1,0 \times 10^{-2}$ mol	Entre $1,0 \times 10^{-2}$ mol et $1,5 \times 10^{-2}$ mol

D'après une étiquette d'une lessive commerciale.

Pour une lessive commerciale, cela correspond à un volume de lessive compris entre 50 et 150 mL.

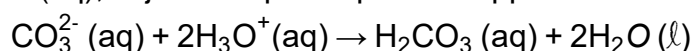
### Protocole :

On dispose d'une solution de lessive de cendre notée  $S_0$ .

On réalise une solution  $S_1$  à partir d'une dilution par 10 de la solution  $S_0$ .

Le titrage d'un volume  $V_1 = 10,0$  mL de solution  $S_1$  est réalisé par pH-métrie. L'acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ,  $\text{Cl}^-(\text{aq})$ ) de concentration  $c_A = 5,00 \times 10^{-3}$  mol·L<sup>-1</sup> est la solution titrante.

**Q.6.** Écrire les demi-équations des deux couples acide-base mettant en jeu les ions carbonate et du couple  $\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) / \text{HO}^-(\text{aq})$ , et justifier que l'équation support de la réaction de titrage s'écrit :



Dans la pratique, la courbe de titrage fait apparaître deux sauts de pH. On admet que le volume équivalent correspondant à la réaction précédente vaut  $V_{\text{eq}} = 17,0$  mL.

**Q.7.** Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions carbonate de la lessive de cendre  $S_0$ .

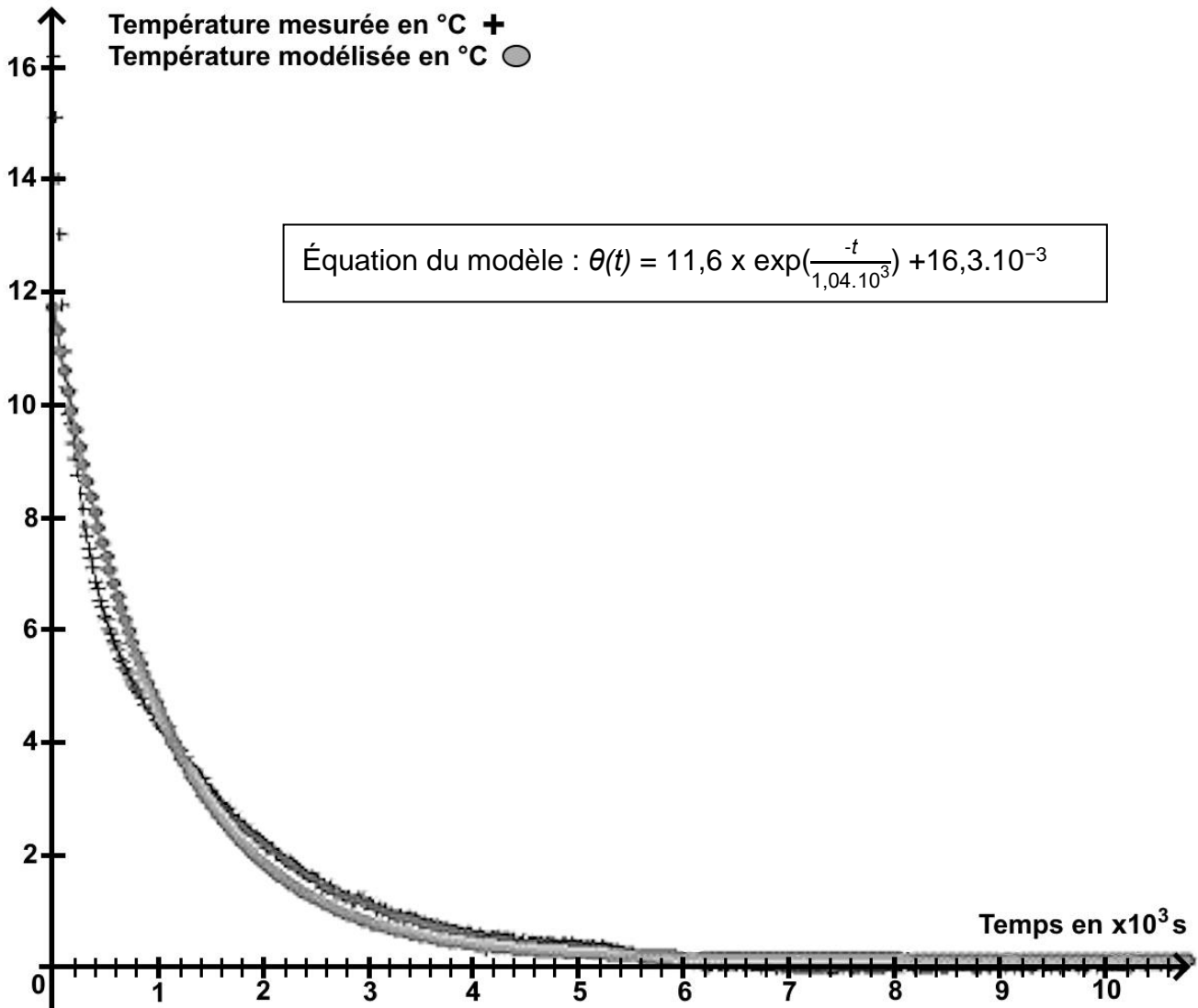
*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.*

Des mesures effectuées conduisent à qualifier l'eau de dure.

**Q.8.** Déterminer un encadrement du volume de lessive de cendre à introduire dans la machine à laver pour répondre aux préconisations de l'étiquette. Commenter le résultat obtenu.

## Annexe à rendre avec la copie

## Exercice 1 : Document 1



## Exercice 2 : Document 2

