

BAC BLANC SPÉCIALITÉ PHYSIQUE CHIMIE - 2020 / 2021

JEUDI 21 JANVIER - 8H00 - 11H30

- Calculatrice autorisée
- L'annexe seule est à rendre avec la copie

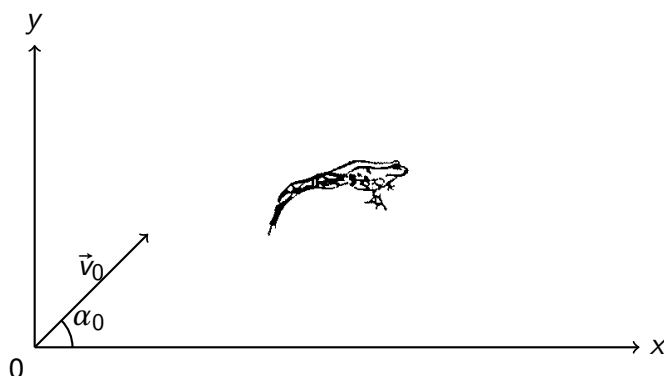
Exercice I - La physique sur un plan d'eau (10 points)

Les parties A et B sont indépendantes

Partie A : le saut de la grenouille

Une grenouille se prélassait sur un nénuphar quand un papillon tombe sur le nénuphar voisin. Elle effectue un saut avec une vitesse initiale $v_0 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour l'attraper.

On étudie le mouvement du centre d'inertie G de la grenouille dans un repère (O, \vec{i}, \vec{j}) . A $t = 0 \text{ s}$, le centre d'inertie de la grenouille se trouve à l'origine du repère. Le vecteur vitesse initial fait un angle $\alpha_0 = 45^\circ$ avec la direction horizontale.



On prendra pour valeur de l'accélération de la pesanteur $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1 Étude dynamique du mouvement :

- 1.1. Les actions mécaniques dues à l'air étant négligées, utiliser la deuxième loi de Newton pour montrer que les coordonnées du vecteur accélération du centre d'inertie G de la grenouille au cours du saut sont :

$$a_x = 0 \text{ et } a_y = -g$$

- 1.2. Montrer que les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du point G sont :

$$x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha_0) \cdot t \text{ et } y(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha_0) \cdot t$$

- 1.3. La figure 1 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** rassemble les représentations graphiques de l'évolution dans le temps des grandeurs x , y , v_x et v_y , coordonnées des vecteurs position et vitesse du point G .

Sur la figure de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**, écrire sous chaque courbe l'expression de la grandeur qui lui correspond et justifier.

- 1.4. Déterminer l'équation de la trajectoire du centre d'inertie de la grenouille.

En déduire l'allure de la trajectoire du centre d'inertie de la grenouille.

- 1.5. Calculer à quelle distance se trouve le nénuphar que la grenouille cherche à atteindre

2 Etude énergétique du mouvement

Au sommet de sa trajectoire, la grenouille a une vitesse $v_1 = 1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On cherche à calculer la hauteur maximale h atteinte par la grenouille en ce point.

2.1. Donner l'expression de l'énergie mécanique et rappeler le principe de conservation de l'énergie en l'absence de frottements.

2.2. Rappeler le théorème de l'énergie cinétique dans les mêmes conditions

2.3. Par une étude énergétique, montrer que l'expression littérale de la hauteur maximale atteinte par la grenouille est $h = \frac{1}{2g}(v_0^2 - v_1^2)$.

Calculer sa valeur

Partie B : camouflage optique

L'iridescence est la propriété de certaines surfaces qui semblent changer de couleur selon l'angle de vue et d'éclairage. Elle est bien visible sur les ailes de mouches, de libellules et certains papillons. Ce phénomène provient d'une couche mince recouvrant ces ailes et produisant des couleurs interférentielles. Dans le cas des papillons, les ailes contiennent des écailles de fond et des écailles de recouvrement, disposées à la manière des tuiles d'un toit. La structure de ces écailles et les pigments qu'elles contiennent jouent un rôle dans la couleur observée. (...)

D'après un site internet (cnrs.fr)

Dans cette partie, le phénomène qui permet à ces papillons de se protéger des prédateurs est modélisé de façon simplifiée. Dans ce modèle élémentaire, schématisé sur la figure 1, on considère que :

- les écailles de l'aile de papillon sont assimilables à des couches minces à face parallèles d'épaisseur constante e ;
- les ondes issues des chemins ① et ② interfèrent au niveau de la rétine de l'observateur ;
- l'aile du papillon est éclairée par de la lumière.

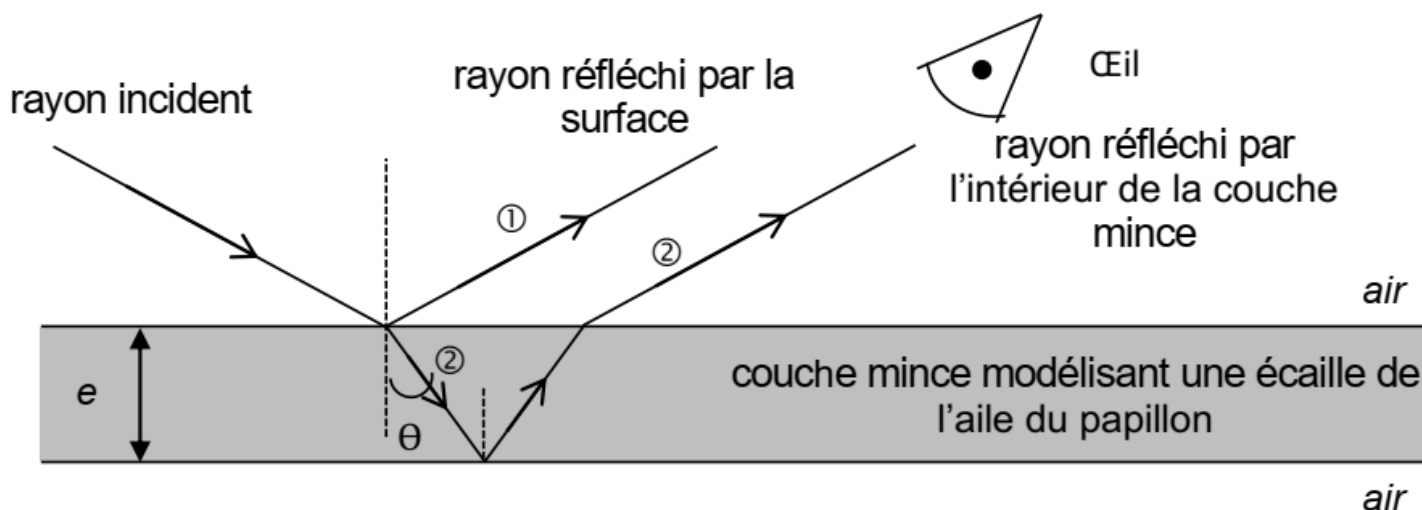


FIGURE 1 : Schéma du trajet d'un rayon lumineux arrivant sur une écaille de l'aile de papillon.

Données :

- la vitesse de la lumière dans l'air est notée c et sa valeur est supposée connue.
- épaisseur des couches minces modélisant les écailles de l'aile du papillon : $e = 100 \text{ nm}$;
- indice optique des couches minces principalement composée de chitine : $n = 1,5$;
on admet que cet indice ne dépend pas de la longueur d'onde.
- une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par une période temporelle T et une période spatiale ou longueur d'onde λ ;

- domaines de longueurs d'ondes de la lumière visible :

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Domaine de longueurs d'ondes (nm)	380-446	446-520	520-565	565-590	590-625	625-780

1. Pour une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde λ , on admet qu'il y a des interférences constructives pour une différence de chemin optique $\delta = k \cdot \lambda$ et des interférences destructives pour $\delta = k \cdot \lambda + \frac{\lambda}{2}$ où k est un nombre entier.

Représenter par un schéma les ondes qui interfèrent dans chaque situation.

2. Lorsque la lumière blanche arrive perpendiculairement à la surface de l'aile, la différence de chemin optique entre les rayons issues des chemins ① et ② de la figure 1 peut s'écrire :

$$\delta = 2 \cdot n \cdot e + \frac{\lambda}{2}$$

- 2.1. Montrer que les ondes conduisent à des interférences constructives pour $\lambda = \frac{2 \cdot n \cdot e}{k - \frac{1}{2}}$ (k étant un nombre entier)

- 2.2. En déduire la couleur qui sera principalement perçue par l'observateur.

3. Lorsque la lumière blanche n'arrive pas perpendiculairement à la surface de l'aile, la différence de marche a pour expression :

$$\delta = 2 \cdot n \cdot e \cdot \cos(\theta) + \frac{\lambda}{2}$$

Expliquer pourquoi la couleur de l'aile du papillon perçue par l'observateur sera différente s'il la regarde sous un autre angle.

Exercice II - Dosage de l'ammoniac dans un produit ménager (5 points)

Un liquide d'entretien de canalisation est constitué d'une solution aqueuse concentrée d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$), dans laquelle on dissout un colorant et un gaz. Ce gaz est l'ammoniac NH_3 dont le pourcentage massique dans la solution est compris entre 0,1% et 0,5% pour une bouteille neuve de ce produit ménager.

L'ammoniac est assez volatil et s'échappe, sous forme de gaz, de la solution dès que la bouteille est ouverte ; l'odeur désagréable qui en résulte permet d'alerter les usagers lors de l'utilisation de ce produit ménager. Ainsi la concentration en ammoniac dans la solution évolue lorsque la bouteille est ouverte.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le pourcentage massique d'ammoniac du liquide d'entretien de canalisation contenu dans une bouteille qui a déjà été ouverte.

Données :

- Dans les conditions usuelles de température et de pression, l'ammoniac est un gaz ;
- La solubilité de l'ammoniac dans l'eau diminue lorsque la température augmente ;
- L'ammoniac en solution dans l'eau est une base (couple $\text{NH}_4^+_{(aq)} / \text{NH}_3_{(aq)}$) ;
- Le pourcentage massique d'une espèce chimique dans un échantillon est égal au quotient de la masse de cette espèce dans l'échantillon par la masse totale de l'échantillon ;
- L'expression littérale de la conductivité σ d'une solution en fonction des concentrations molaires $[X_i]$ des ions présents et des conductivités molaires ioniques λ_i de chaque ion X_i est :

$$\sigma = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i]$$


- Masses molaires atomiques : $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(N) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Conductivités molaires ioniques λ_i de quelques ions à 25 °C :

Ion	H ₃ O ⁺	Cl ⁻	NH ₄ ⁺
λ_i (en mS · m ² · mol ⁻¹)	35,5	7,6	7,3

1 Préparation de la solution titrante d'acide chlorhydrique

Afin de vérifier la composition en ammoniacque d'une solution commerciale, on décide de réaliser un titrage de celle-ci.

Pour cela, a besoin d'une solution titrante d'acide chlorhydrique de concentration $C_A = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On prépare cette solution à partir de la solution commerciale dont l'étiquette est fournie ci-contre.



Acide chlorhydrique

Teneur minimum en acide: 34%

densité d: 1.17

masse molaire M: 36.47 g.mol⁻¹

DANGERS

H314- Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux

Nota: Les conseils de prudence P son indiqué sur l'annexe 1 du règlement CE n°1272/2008

CAS: 231-595-7

1.1. Montrer que la concentration ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) en acide chlorhydrique apporté par la solution commerciale est proche de $C_{com} = 11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

On rappelle que la densité d'un liquide par rapport à l'eau donne la valeur de sa masse volumique exprimée en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ou en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

1.2. En partant de la solution commerciale précédente, un technicien de laboratoire doit réaliser 1 litre d'une solution de concentration égale à $C_A = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

1.2.1. Écrire le protocole en indiquant le nom du matériel à utiliser ainsi que les volumes (détailler les calculs).

1.2.2. Quelles précautions doit-on prendre lors de la manipulation de la solution commerciale ?

2 Détermination de la masse volumique du liquide d'entretien

On réalise l'expérience suivante :

- Placer une fiole jaugée de volume 200,0 mL vide sur une balance et réaliser la tare ;
- Remplir cette fiole de liquide d'entretien jusqu'au trait de jauge ;
- Peser la fiole remplie.

On relève une masse de 220,4 g.

En déduire la masse volumique de l'échantillon de liquide d'entretien de canalisation prélevé.

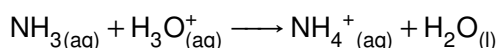
3 Titrage de l'ammoniac

Pour préparer la solution titrée S, on réalise le protocole suivant :

- Prélever 10,0 mL du liquide d'entretien de canalisation à l'aide d'une pipette jaugée
- Recueillir le gaz, supposé complètement extrait par chauffage de ce prélèvement et complètement dissous dans l'eau distillée pour former la solution S.

On réalise le titrage suivi par conductimétrie de la totalité de la solution S (100 mL) recueillie dans l'erlenmeyer par une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$) de concentration $C_A = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :



La figure 2 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** donne l'évolution de la conductivité σ , à 25 °C, de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume de solution titrante versée.

Données : Masse volumique de la solution d'ammoniac contenu dans la bouteille : $\rho = 1,102 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

3.1. Réaliser un schéma légendé du dispositif expérimental utilisé pour réaliser ce titrage conductimétrique.

3.2. Justifier que la réaction support du titrage est une réaction acido-basique.

3.3. Au cours du titrage, la conductivité de la solution évolue. Justifier l'allure de son évolution avant et après l'équivalence.

- 3.4. Déterminer le volume à l'équivalence sur la figure 2 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** en justifiant votre réponse par une construction graphique
- 3.5. Déterminer le pourcentage massique d'ammoniac contenu dans la bouteille de liquide d'entretien de canalisation. Commenter.

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 III - La pile sous toutes ses faces (5 points)

Depuis la découverte de la pile par Alessandro Volta en 1800, de nombreux scientifiques ont cherché (et cherchent encore) à fabriquer des piles de plus en plus performantes (transport plus facile, encombrement plus faible, durée de fonctionnement plus longue, intensité débitée plus grande...).

On se propose dans cet exercice d'étudier quelques caractéristiques de deux modèles de piles :

- une pile "classique", celle de J. Daniell ;
- une pile à combustible.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

1 La pile Daniell

Conçue en 1836 par le physicien britannique John Daniell, elle met en jeu les deux couples $Zn^{2+}_{(aq)} / Zn_{(s)}$ et $Cu^{2+}_{(aq)} / Cu_{(s)}$. Elle offre l'avantage sur la pile de Volta de délivrer un courant constant. Initialement, les deux solutions étaient séparées par une paroi en terre poreuse. Cette paroi fut remplacée par une feuille de parchemin permettant à la pile de débiter un courant plus intense. Le modèle présenté sur l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**, est constitué de deux demi-piles reliées par un pont salin au nitrate de potassium ($K^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)}$).

Les solutions aqueuses de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre utilisées ont la même concentration en ions zinc et en ions cuivre : $[Cu^{2+}] = [Zn^{2+}] = 1,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$

L'électrode positive de cette pile est l'électrode de cuivre.

- 1.1. Légender le schéma de la figure 3 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** en indiquant :
- la nature de chaque électrode (anode ou cathode) ;
 - la nature des ions métalliques présents dans les béchers ;
 - le sens conventionnel du courant et le sens du mouvement des électrons.
- 1.2. Écrire les demi-équations des réactions qui se produisent aux électrodes en précisant pour chacune d'elles s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.
- 1.3. En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.
- 1.4. On cherche à étudier le sens d'évolution du système :
- 1.4.1. Donner l'expression littérale du quotient de réaction associé à la réaction dont l'équation a été donnée en réponse à la question 1.3
- 1.4.2. Calculer sa valeur $Q_{r,i}$, dans l'état initial du système.
- 1.4.3. Dans quel sens évolue le système ? Justifier.
- Données :** Pour la réaction d'équation $Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightleftharpoons Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$, la constante d'équilibre vaut $K(T) = 1,9 \times 10^{37}$
- 1.5. Comment évoluent les concentrations des ions métalliques dans chacun des béchers ?
- 1.6. En déduire le sens du mouvement des ions présents dans le pont salin.

2 La pile à combustible à hydrogène.

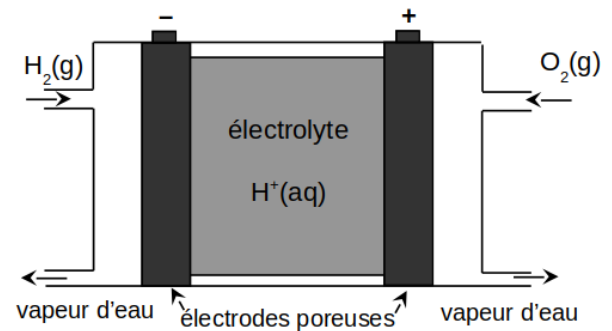
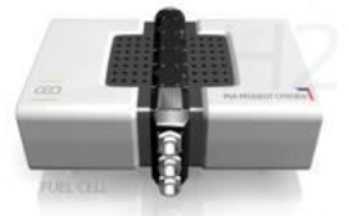
Dans le cadre du défi « Zéro CO₂ », il a été construit un voilier destiné à faire le tour de la Méditerranée et équipé d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par une pile à combustible à hydrogène. Ce projet doit permettre de tester un bateau aux énergies renouvelables et au dihydrogène, pour promouvoir un littoral économe et respectueux de l'environnement. L'industrie automobile a développé la pile Génépac : c'est la pile à combustible choisie pour le projet « Zéro CO₂ ».

Une cellule de pile à combustible à hydrogène est constituée de deux électrodes poreuses séparées par un électrolyte (acide dans le cas présent). (voir figure ci-contre).

Lorsque le réservoir de dihydrogène est plein, la masse du dihydrogène disponible dans la pile est 3,00 kg.

Cette pile est un empilement de 170 cellules élémentaires identiques en série. Dans certaines conditions d'utilisation, on peut considérer que le courant circulant dans une cellule de la pile est constant d'intensité $I = 120$ A. Cette pile arrête de fonctionner lorsqu'une cellule est vide.

Par construction, la durée d'autonomie de la pile est égale à la durée de fonctionnement Δt d'une cellule élémentaire.



Données :

- Masse molaire atomique de l'hydrogène $M(H) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Constante de Faraday : $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Couples oxydant/réducteur mis en jeu dans la réaction : $\text{H}^+_{(aq)} / \text{H}_{2(g)}$ et $\text{O}_{2(g)} / \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

2.1. Principe de fonctionnement de la pile :

2.1.1. Ecrire les demi-équations des réactions ayant lieu à chaque électrode quand la pile débite.

2.1.2. Montrer que l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile est : $2\text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

2.2. Durée d'autonomie de la pile Génépac :

2.2.1. Déterminer la masse de dihydrogène disponible pour une cellule élémentaire.

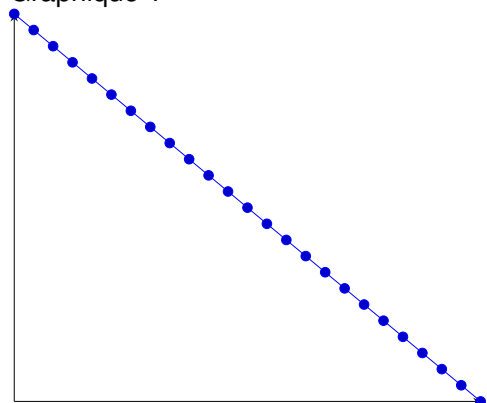
2.2.2. Calculer la quantité de matière de dihydrogène consommée par une cellule élémentaire.

2.2.3. Calculer la capacité électrique Q_{max} d'une cellule élémentaire.

2.2.4. En déduire la durée de fonctionnement de la pile à combustible.

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

Graphique 1

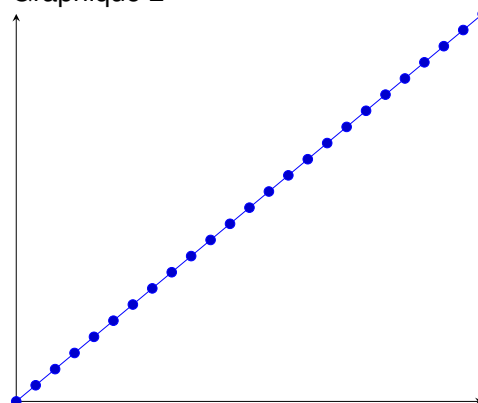


temps en s

Equation :

Justification :

Graphique 2

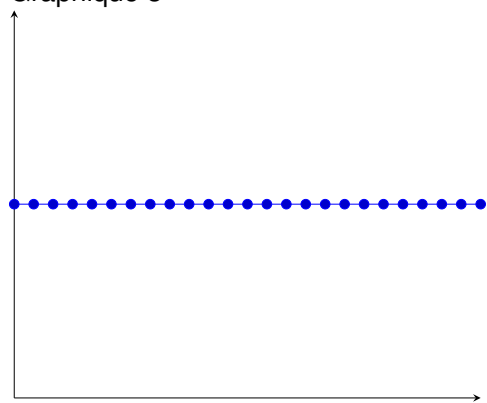


temps en s

Equation :

Justification :

Graphique 3

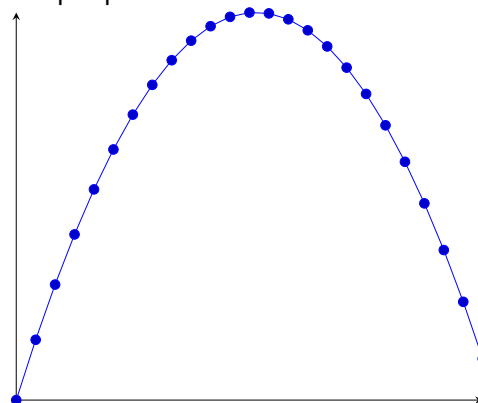


temps en s

Equation :

Justification :

Graphique 4



temps en s

Equation :

Justification :

FIGURE 1 : Représentations graphiques de l'évolution dans le temps des grandeurs x , y , v_x et v_y .

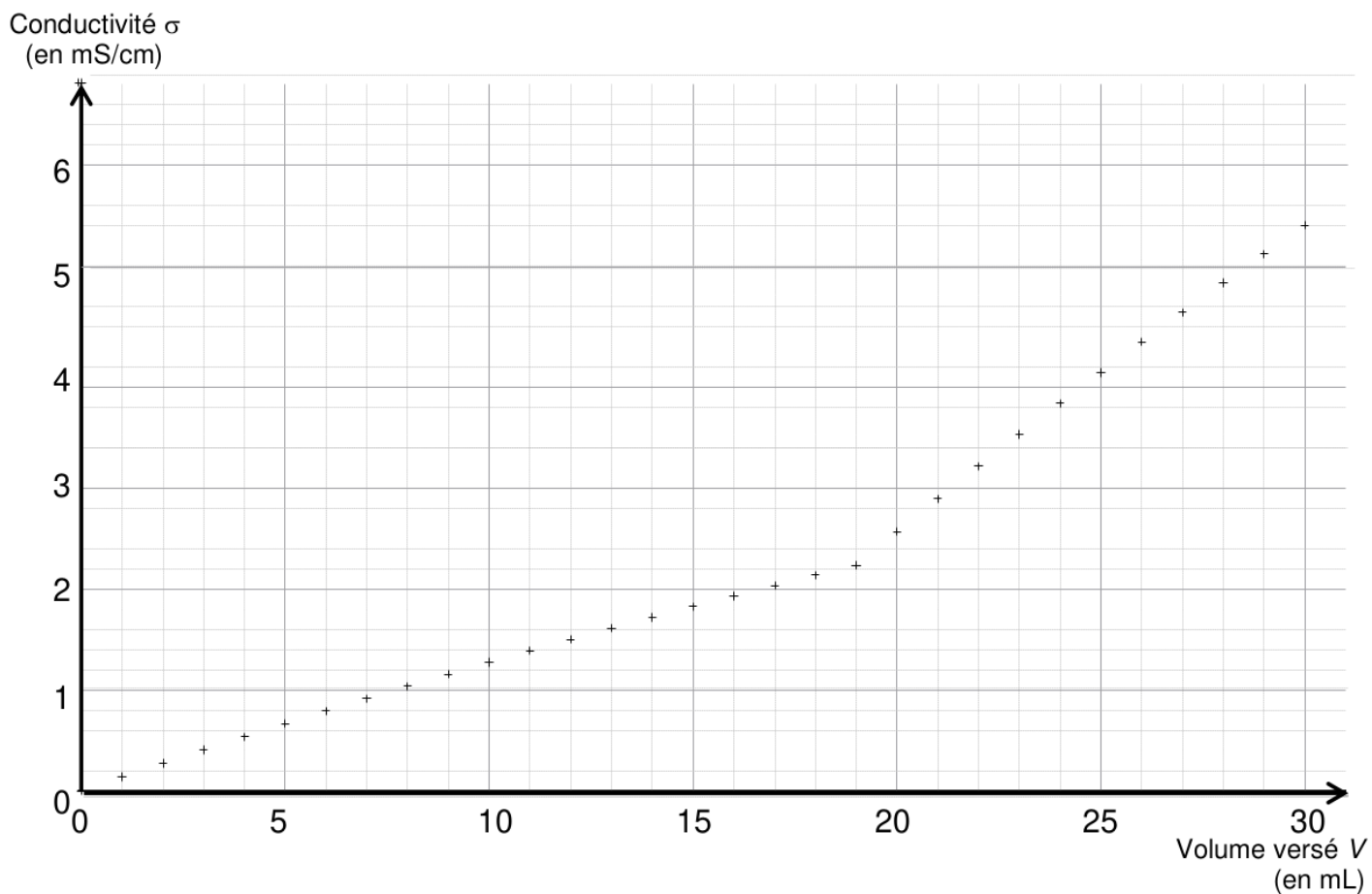


FIGURE 2 : Evolution de la conductivité σ en fonction du volume d'acide chlorhydrique V versé

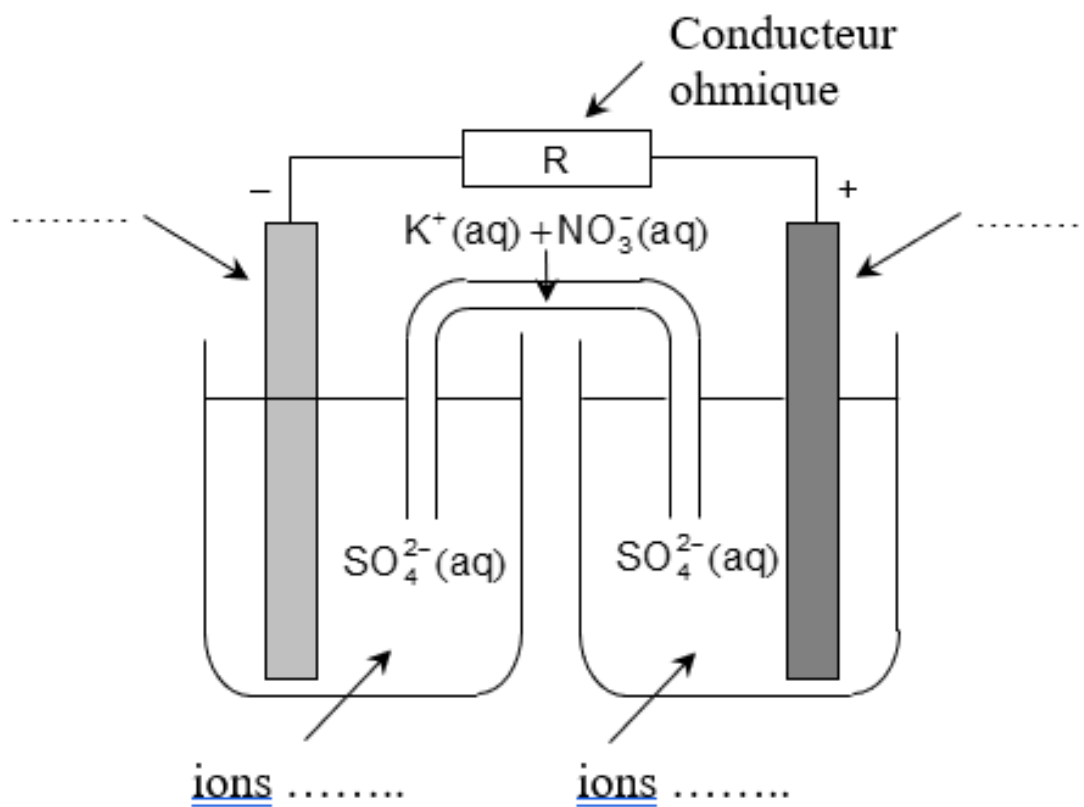


FIGURE 3 : Schéma à légender