

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2012

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE de L'ÉPREUVE : 3 h 30 - COEFFICIENT : 8

L'usage d'une calculatrice **EST** autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte un exercice de PHYSIQUE, deux exercices de CHIMIE présentés sur 13 pages numérotées de 1 à 13, y compris celle-ci.

Les pages annexes (pages 11 à 13) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elles n'ont pas été complétées.

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

EXERCICE I - LES PROUESSES DU POISSON ARCHER (9 points)

*Le *Toxotes jaculatrix*, plus communément appelé poisson archer, est une espèce d'une dizaine de centimètres de long originaire de la Polynésie française, du Nord de l'Australie et de l'Asie du Sud-Est, bien connue des aquariophiles. Sa technique de capture des insectes en fait un chasseur hors-pair puisqu'il est capable à l'âge adulte d'atteindre des proies aériennes situées à près de deux mètres.*



Crédit : Encyclopédie
Microsoft® Encarta®
en ligne 2007

Après une présentation de sa technique de chasse, on modélisera le mouvement du jet d'eau ; enfin on s'intéressera à l'éclairage des aquariums.

Les parties 1, 2, 3 sont indépendantes.

1. Étude de texte

« La particularité du poisson archer est qu'il ne se contente pas d'attendre le hasard d'une chute ou qu'un coup de vent providentiel amène à lui cette manne céleste [les proies aériennes]. Il peut, en projetant un puissant jet d'eau avec sa bouche, faire tomber des proies en surface avant de les attraper [...].

Après avoir repéré sa future proie, le poisson s'oriente, se rapproche et se positionne. Le museau affleure à la surface de l'eau mais les deux gros yeux situés près de la bouche [...] restent sous la surface [...].

Précis, le tir du *Toxotes* [poisson archer] est pourtant confronté à une difficulté balistique majeure : pour viser, il lui faut tenir compte de la différence d'indice de réfraction entre l'eau et l'air [...].

Deux hypothèses ont été proposées pour expliquer la précision du poisson archer. La première est qu'il se positionne à la verticale de sa proie [...]. Il voit donc théoriquement l'insecte où il est vraiment. Cependant l'observation montre que la majorité des tirs a lieu selon des angles variant de 70° à 80° , aussi pense-t-on que plus probablement son habileté résulte d'un apprentissage : c'est à force de rater sa cible que le poisson corrigerait de lui-même la réfraction. On a en effet déterminé expérimentalement qu'il est capable de tirer avec précision environ 8 fois par minute sur une période de 10 minutes, ce qui lui permet d'ajuster son tir si nécessaire. [...].¹»

¹ Bruno Didier, *Le poisson archer*, Revue Insectes n°130, 2003, Septembre, p23

Données :

- Indices de réfraction de l'air et de l'eau : $n_{air} = 1,0$ et $n_{eau} = 1,33$
- Loi de Descartes : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$ avec i_1 : angle d'incidence et i_2 : angle de réfraction

1.1.

1.1.1. En prenant appui sur le texte, nommer le phénomène physique mis en jeu lors de la visée de l'insecte par le poisson. Dans quelles conditions observe-t-on ce phénomène ?

1.1.2. Justifier la phrase du texte : « *Il voit donc théoriquement l'insecte où il est vraiment* ».

1.2. Calculer la fréquence f d'émission des jets d'eau.

2. Modélisation du mouvement du jet d'eau

Dans la suite de l'exercice, le comportement du jet d'eau sera assimilé à celui d'une goutte d'eau de masse m .

On note \vec{v}_0 le vecteur vitesse initiale du centre d'inertie de la goutte.

Une mouche posée sur une feuille située à une hauteur $H = 75 \text{ cm}$ au-dessus de la surface de l'eau est convoitée par un poisson archer situé non loin de là. Le poisson projette vers l'insecte un jet d'eau avec un vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. Le jet percute l'insecte au moment où l'eau atteint le sommet de sa trajectoire.

La situation est schématisée **SUR LA FIGURE 1 DE L'ANNEXE EN PAGE 11 À RENDRE AVEC LA COPIE.**

Soit **G** le centre d'inertie de la goutte d'eau et **I** le centre d'inertie de la mouche.

Dans toute l'étude on supposera que l'action de l'air est négligeable.

Le mouvement de **G** est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

On prend comme origine des dates, l'instant où le poisson archer projette l'eau ; le point **G** se trouve alors au point O pris comme origine du repère $(O ; \vec{i}; \vec{j})$.

Données :

- Intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- $v_0 = 4,0 \text{ m.s}^{-1}$

2.1. Étude du mouvement

2.1.1. Qu'implique la phrase : « l'action de l'air est négligeable » pour le bilan des forces ?

2.1.2. En déduire, en appliquant la deuxième loi de Newton dans le repère $(O ; \vec{i}; \vec{j})$, l'expression vectorielle puis les coordonnées du vecteur accélération \vec{a}_G du centre d'inertie G de la goutte.

2.2. Vecteur vitesse

- 2.2.1. Exprimer les coordonnées du vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 dans le repère $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$ en fonction de l'angle α et de v_0 .
- 2.2.2. Soit v_x la coordonnée horizontale du vecteur vitesse \vec{v} du centre d'inertie G de la goutte au cours du mouvement. Expliquer qualitativement pourquoi on peut affirmer que v_x garde une valeur constante au cours du mouvement.

2.3. Recherche de la condition initiale sur l'angle α pour que le jet d'eau atteigne l'insecte

- 2.3.1. Dessiner **SUR LA FIGURE 1 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**, sans souci d'échelle, le vecteur vitesse (noté \vec{v}_G) du centre d'inertie G de la goutte, au moment de l'impact avec l'insecte, resté immobile au point représenté sur la figure.
- 2.3.2. Exprimer les coordonnées de \vec{v}_G dans le repère $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$ en fonction de v_0 et α .
- 2.3.3. Exprimer l'énergie mécanique du jet d'eau en fonction de m , v_0 , α , g et H :
- 2.3.3.1. au point O ;
- 2.3.3.2. au moment de l'impact avec la mouche.

On choisira la surface de l'eau comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur : $E_p = 0$ pour $y = 0$.

- 2.3.4. En déduire que la valeur de l'angle α permettant au jet d'eau d'atteindre la mouche vérifie l'équation : $\sin \alpha = \frac{\sqrt{2 \times g \times H}}{v_0}$.
- On rappelle que $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$.*
- Vérifier que la valeur de l'angle α vaut 74° .

2.4. Mouvement du jet d'eau

- 2.4.1. À partir des résultats de la question 2.1.2., montrer que les équations horaires $x_G(t)$ et $y_G(t)$ du mouvement du centre d'inertie G de la goutte sont :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cos \alpha \times t \\ y(t) = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \sin \alpha \times t \end{cases}$$

- 2.4.2. Montrer que pour que la mouche puisse échapper au jet d'eau, il faut que son temps de réaction, noté t_R , soit inférieur ou égal à 0,39 s.
- 2.4.3. En déduire que la distance d indiquée **SUR LA FIGURE 1 DE L'ANNEXE EN PAGE 11** a pour valeur environ 43 cm.

3. Éclairage d'un aquarium

En aquariophilie, on utilise comme éclairage des tubes fluorescents. Ce type de tube contient de la vapeur de mercure à basse pression dans laquelle on déclenche une décharge électrique. Le rayonnement ultraviolet émis par le mercure est transformé en lumière visible par une poudre fluorescente qui tapisse la paroi intérieure du tube. Le spectre d'émission du tube dépend de la nature de la poudre fluorescente utilisée.

Il existe une grande variété de tubes fluorescents parmi lesquels on trouve des tubes avec la mention « plein spectre » (lumière du jour). La **figure 2** présente le spectre d'émission d'un de ces tubes.

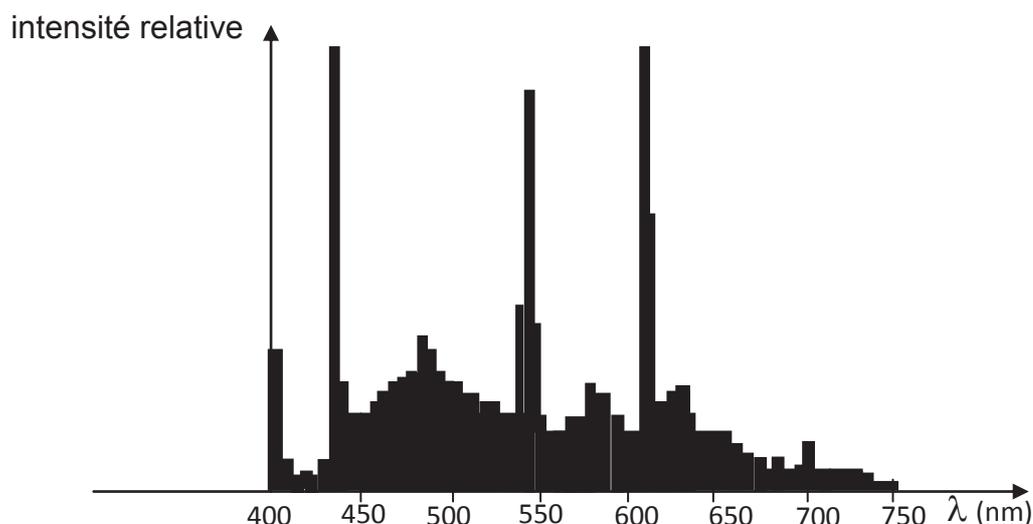


Figure 2. Spectre d'émission d'un tube fluorescent « plein spectre »

Données :

- Longueurs d'onde des principales raies d'émission du mercure dans le visible : 405 nm, 436 nm, 546 nm, 577 nm, 579 nm, 615 nm.
- Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s.
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹.
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J.
-

Couleurs	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
λ (nm)	400 – 424	424 – 491	491 – 575	575 – 585	585 – 610	610 – 750

3.1. Situer le domaine des longueurs d'onde des ultra-violets par rapport au domaine des longueurs d'onde des radiations visibles.

3.2. À propos du spectre du tube fluorescent

3.2.1. Justifier l'appellation « plein spectre » de ce type de tube.

3.2.2. À partir du texte, indiquer le rôle du mercure dans le tube fluorescent.

3.3. À propos du mercure utilisé dans le tube fluorescent

La **figure 3 ci-dessous** représente le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de mercure.

- 3.3.1. Quel nom donne-t-on au niveau d'énergie E_0 ? Comment appelle-t-on les niveaux d'énergie E_1 à E_4 ?
- 3.3.2. L'une des radiations visibles émises par la vapeur de mercure correspond à une transition faisant intervenir les niveaux d'énergie E_1 et E_3 du diagramme représenté sur la **figure 3 ci-dessous**. Préciser le sens de cette transition.
- 3.3.3. Calculer la valeur de la longueur d'onde du photon émis lors de la transition. La valeur trouvée est-elle cohérente avec les données de l'énoncé ?

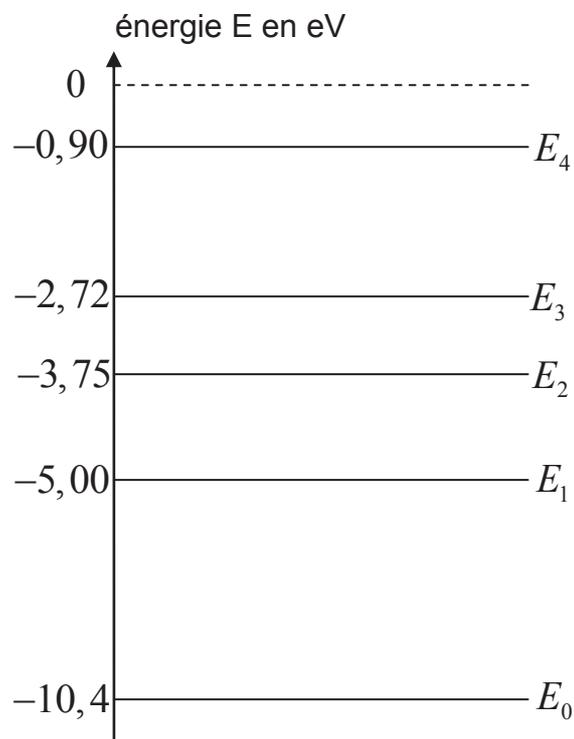


Figure 3. Diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de mercure

EXERCICE II - RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES (3 points)

Données : Les solutions aqueuses considérées sont prises à 25°C.

- Produit ionique de l'eau : $K_e = 1,0 \cdot 10^{-14}$.
- Volume molaire dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Couples de l'eau : H_3O^+ / H_2O et H_2O / HO^- .
- Couple acide éthanoïque / ion éthanoate : CH_3COOH / CH_3COO^- ; $K_{a1} = 1,6 \cdot 10^{-5}$.
- Couple ion ammonium / ammoniac : NH_4^+ / NH_3 ; $K_{a2} = 6,3 \cdot 10^{-10}$.
- Zones de virage de quelques indicateurs colorés :

Indicateur	Hélianthine	Bleu de bromothymol	Rouge de crésol	Phénolphtaléine
Zone de virage	3,2 – 4,4	6,0 – 7,6	7,2 – 8,8	8,2 – 10

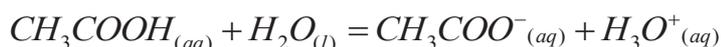
Cet exercice comporte 9 affirmations numérotées de 1.1 à 3.3.

Répondre à chaque affirmation par VRAI ou FAUX. Toute réponse doit être accompagnée de justifications ou de commentaires brefs (définitions, calculs, justifications graphiques).

1. Solution d'acide éthanoïque

Le pH d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque de concentration molaire $C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ est de 3,4.

1.1. L'équation de réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau s'écrit :



1.2. Cette transformation est limitée.

1.3. Le rapport $\frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}$ des concentrations à l'état final vaut environ 25.

2. Réaction de l'ammoniac avec l'eau

On dissout dans l'eau 50 mL d'ammoniac NH_3 gazeux de manière à obtenir 200 mL de solution.

La réaction de l'ammoniac avec l'eau s'écrit : $NH_{3(g)} + H_2O_{(l)} = NH_4^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$

2.1. La concentration molaire en ammoniac apporté est de $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

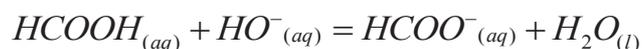
2.2. L'ammoniac est un acide au sens de Brønsted.

2.3. La constante d'équilibre K associée à la transformation vaut $1,6 \cdot 10^{-5}$.

3. Dosage de l'acide méthanoïque par la soude

On réalise la simulation du titrage pH-métrique d'un volume $V_a = 10,0$ mL de solution aqueuse d'acide méthanoïque HCOOH de concentration molaire $C_a = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_b = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

L'équation de la réaction servant de support au titrage est :



La courbe $\text{pH} = f(V_b)$ ainsi que les variations des pourcentages des espèces du couple acide méthanoïque/ion méthanoate en fonction du volume V_b de solution d'hydroxyde de sodium versé sont représentées **SUR LA FIGURE 4 DE L'ANNEXE EN PAGE 12 À RENDRE AVEC LA COPIE.**

- 3.1.** La courbe 2 est la courbe d'évolution du pourcentage d'acide méthanoïque.
- 3.2.** Le pK_a du couple $\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-$ est égal à 5,0.
- 3.3.** Le rouge de crésol peut être utilisé comme indicateur coloré de fin de réaction.

EXERCICE III - DOSAGE DU CUIVRE DANS UN LAITON (4 points)

Le laiton est un alliage de cuivre et de zinc contenant éventuellement d'autres métaux à l'état de traces. La désignation symbolique d'un laiton suivant la norme européenne décrit sa composition chimique : elle consiste à indiquer en premier le symbole chimique du constituant majoritaire (le cuivre) puis les symboles chimiques des éléments présents dans l'alliage avec leur teneur en pourcentage massique, rangés par ordre décroissant.

Les laitons commerciaux les plus courants sont CuZn30 et CuZn40.

On cherche à identifier un laiton commercial à partir de la détermination de sa teneur en cuivre.

Données :

- Couples oxydant / réducteur : $NO_3^-_{(aq)} / NO_{(g)}$ et $Cu^{2+}_{(aq)} / Cu_{(s)}$
- L'empois d'amidon forme un complexe coloré bleu foncé en présence de diiode.
- Masse molaire atomique : $M(Cu) = 63,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

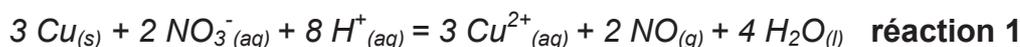
1. Attaque acide du laiton

Dans un bécher, on réalise l'oxydation de 1,00 g de fil de laiton par une solution d'acide nitrique concentré ($H^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)}$) en léger excès. La réaction est vive et dégage des vapeurs rousses toxiques.

Lorsque la réaction est terminée, on transvase le contenu dans une fiole jaugée de 100,0 mL ainsi que l'eau de rinçage du bécher et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On note (S) la solution bleue obtenue.

À l'issue de l'attaque, la totalité du cuivre métal et du zinc métal a été transformée en ions Cu^{2+} et Zn^{2+} . On précise par ailleurs que les ions zinc(II) présents en solution ne perturbent pas le dosage des ions cuivre(II).

- 1.1. Quelles précautions faut-il prendre pour effectuer l'attaque acide du laiton ?
- 1.2. Montrer que l'équation d'oxydoréduction mise en jeu lors de l'attaque du cuivre s'écrit :

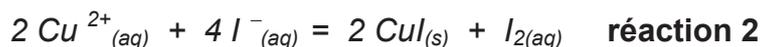


Remarque : le monoxyde d'azote (NO) se transforme en dioxyde d'azote (NO_2), gaz roux, au contact du dioxygène de l'air.

2. Dosage des ions cuivre (II)

On prélève un volume $V = 10,0 \text{ mL}$ de solution (S) que l'on place dans un erlenmeyer, puis on ajoute 10 mL d'une solution d'iodure de potassium ($K^+_{(aq)} + I^-_{(aq)}$) de concentration $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; les ions iodure se trouvent alors en excès dans le milieu. Un précipité d'iodure de cuivre (I), $CuI_{(s)}$, apparaît et la solution devient brune.

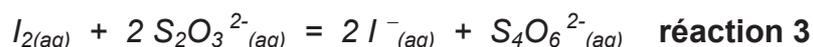
La transformation mise en jeu est modélisée par :



Le mélange est filtré à l'aide du dispositif représenté **SUR LA FIGURE 5 DE L'ANNEXE EN PAGE 13 À RENDRE AVEC LA COPIE** pour éliminer le précipité.

Le diiode, $\text{I}_{2(aq)}$, formé par la réaction 2 est ensuite titré par une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ($2 \text{Na}^{+}_{(aq)} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(aq)}$) de concentration molaire $C = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$, en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon.

La transformation mise en jeu est modélisée par :



L'équivalence est obtenue pour un volume de solution de thiosulfate de sodium versé $V_E = 11,1 \text{ mL}$.

2.1. Étude du protocole

- 2.1.1. Préciser la verrerie utilisée pour le prélèvement de la solution (S) et celle utilisée pour l'ajout de la solution d'iodure de potassium.
- 2.1.2. Justifier l'intérêt d'ajouter l'iodure de potassium en excès.
- 2.1.3. Nommer et légénder le dispositif représenté **SUR LA FIGURE 5 DE L'ANNEXE EN PAGE 13**.

2.2. Le dosage des ions cuivre (II) est-il un titrage direct ou indirect ? Justifier.

2.3. Les ions cuivre (II) en solution aqueuse sont bleus. Cela permet d'envisager une autre technique de dosage. Quelle est cette technique ?

2.4. Exploitation du titrage

- 2.4.1. Faire un schéma légénder du dispositif de titrage.
- 2.4.2. Définir l'équivalence du titrage et préciser le changement de couleur de la solution observé à l'équivalence. Justifier.
- 2.4.3. Exprimer n_{I_2} , quantité de matière de diiode dosé par la réaction 3, en fonction de C et V_E .
- 2.4.4. Exprimer puis calculer $n_{\text{Cu}^{2+}}$, quantité de matière d'ions cuivre (II) dosés, en fonction de C et V_E .

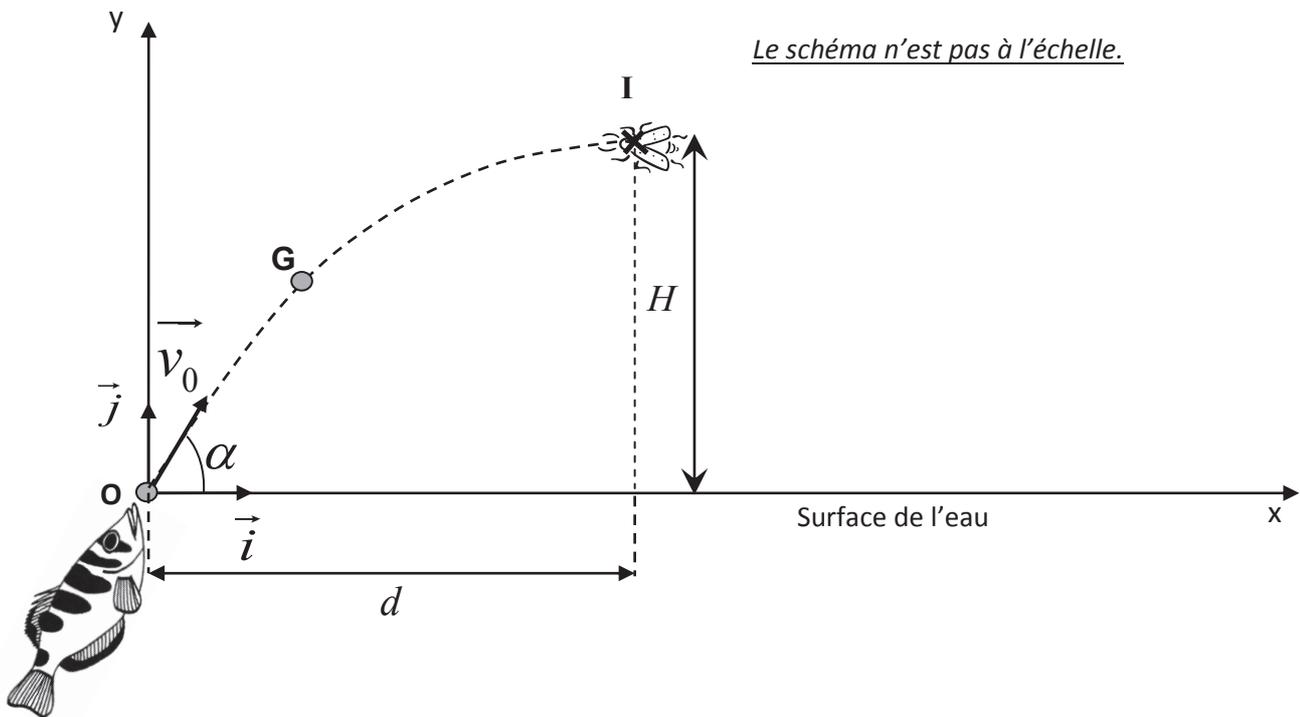
2.5. En déduire la quantité de matière d'ions cuivre (II), n_S , dans la solution (S).

3. Pourcentage massique en cuivre dans le laiton

3.1. En déduire la quantité de matière de cuivre métallique n_{Cu} contenu dans le fil de laiton puis calculer la masse de cuivre correspondante, notée m_{Cu} .

3.2. Calculer le pourcentage massique en cuivre dans le laiton testé. Conclure.

ANNEXE DE L'EXERCICE I

2.**Figure 1**

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Titration de l'acide méthanoïque par la soude

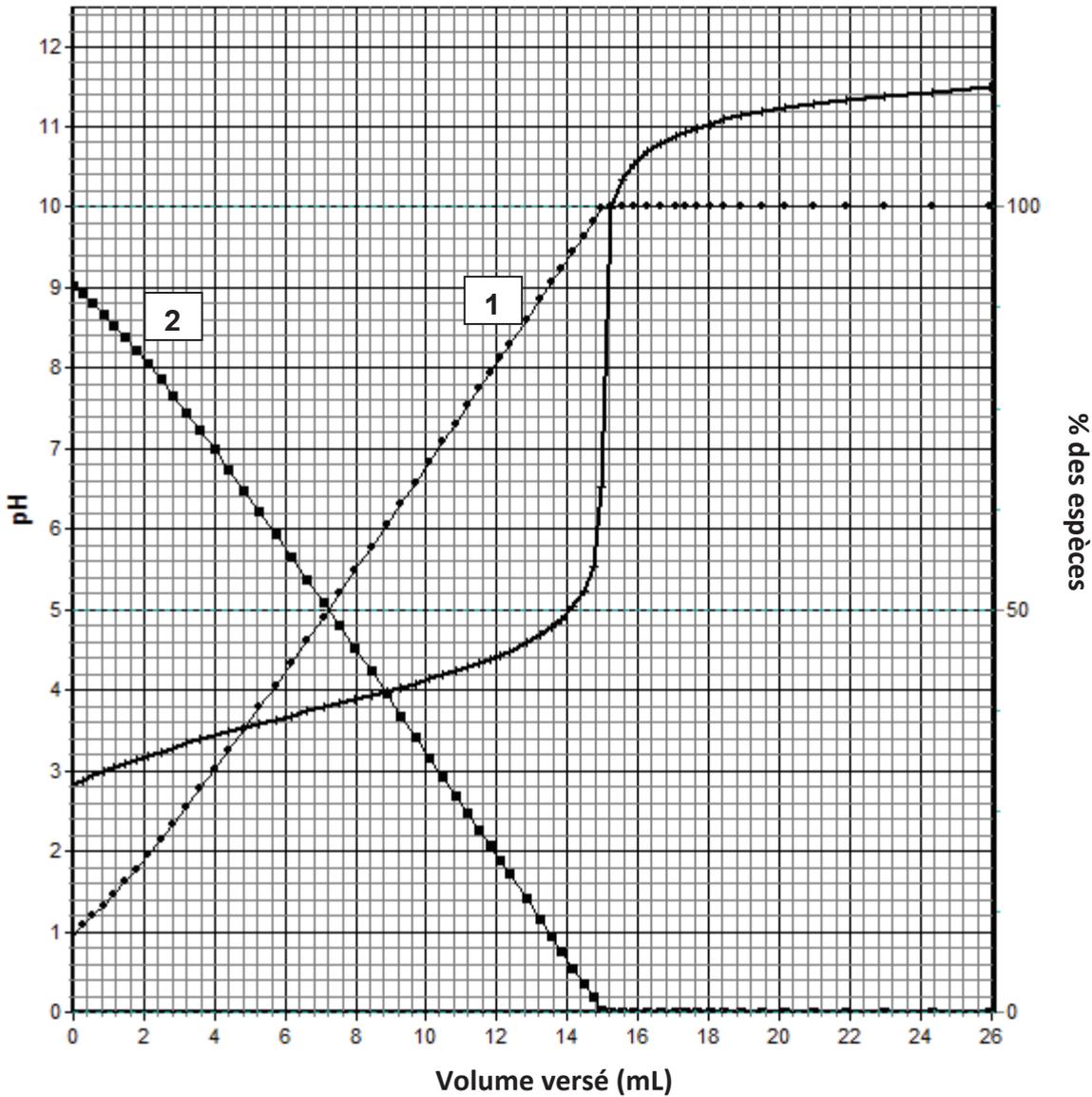
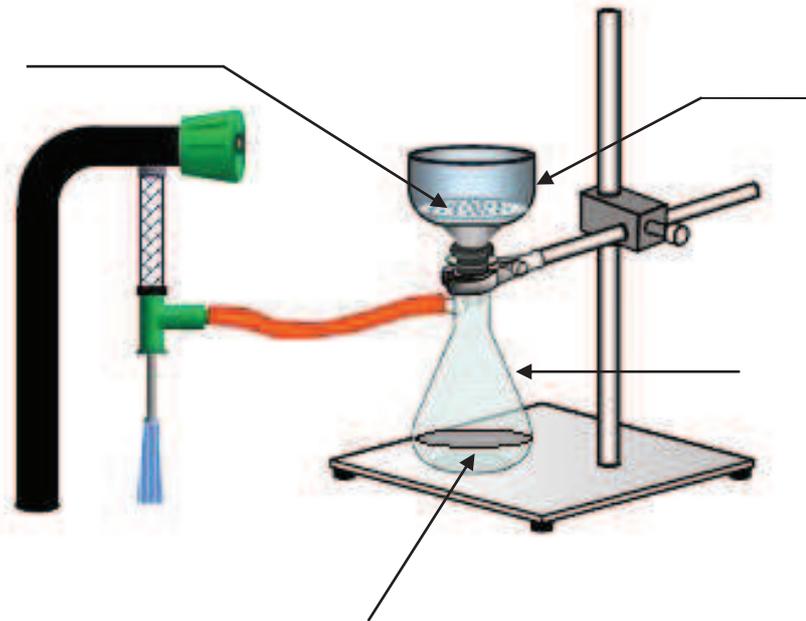


Figure 4. Courbes d'évolution du pH et des pourcentages des espèces HCOOH et HCOO⁻ en fonction du volume V_b de solution d'hydroxyde de sodium versé

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III



Nom du montage :

Figure 5