

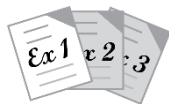
Spécialité Physique-Chimie – Sujet B

Baccalauréat « blanc » du mercredi 1^{er} février 2023

Durée : 3h30 – calculatrice autorisée

Chacun des trois exercices est à rédiger sur une copie à part indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

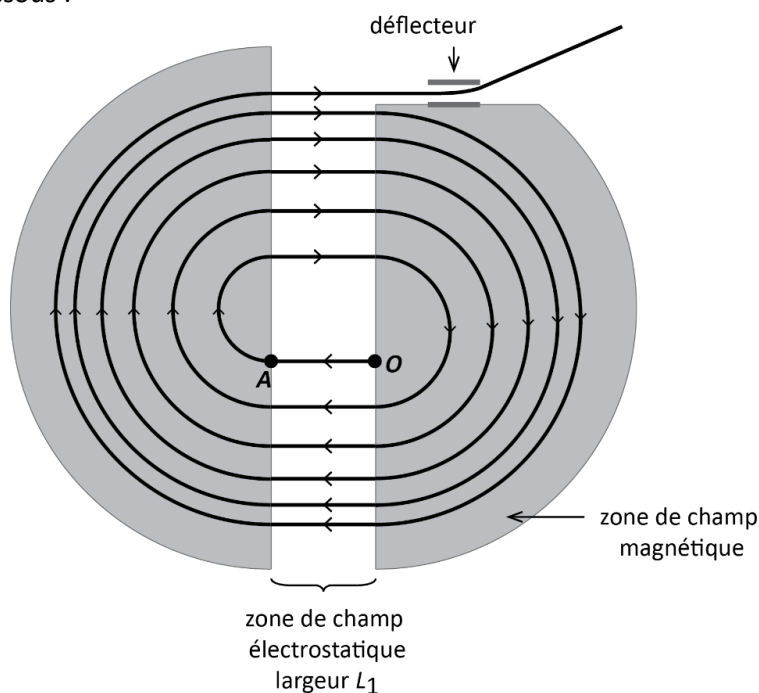
Exercice 1 : le cyclotron – 10 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

Un cyclotron est un système conçu pour produire un faisceau de protons de très haute vitesse. Il repose sur le principe schématisé ci-dessous :



- Un proton est émis au point O , avec une vitesse initiale faible, que nous supposons nulle.
- Il pénètre dans la « zone de champ électrique » où il subit un champ électrique orienté vers la gauche.
- Il pénètre ensuite dans une zone de champ magnétique de forme hémicylindrique (représentée en grisé ci-dessous), qui lui donne un mouvement circulaire uniforme (et que nous n'étudions pas ici).
- Il pénètre à nouveau dans la zone de champ électrique mais ce champ, entre temps, a conservé la même valeur mais a changé de sens : il est donc toujours dans le sens de son mouvement.
- Après des dizaines de milliers de tours, le proton sort du cyclotron et traverse un déflecteur, qui a pour but de le dévier de quelques degrés afin de lui faire atteindre sa cible.

Cet exercice étudie deux parties de son mouvement : de l'émission à l'entrée dans le déflecteur puis lors de sa traversée du déflecteur.

Les deux parties sont indépendantes.

DONNÉES et relation utile à tout l'exercice

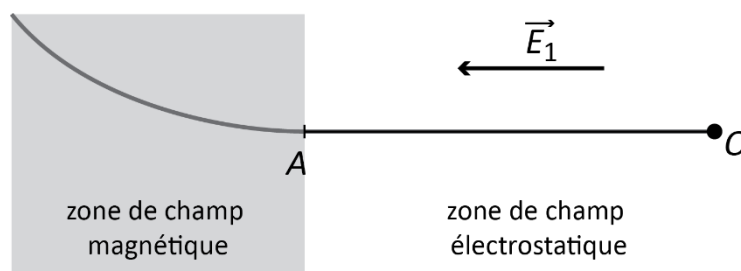
- Masse d'un proton : $m_p = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Force électrostatique exercée sur un corps de charge q dans une zone où règne un champ électrostatique \vec{E} : $\vec{F}_e = q\vec{E}$
- Le travail de la force magnétique exercée sur une particule chargée est nul.

La seconde partie peut être traitée indépendamment de la première.

1^{ère} partie : de l'émission à l'entrée dans le déflecteur

On modélise ainsi le début du mouvement du proton :

- Il est émis en O , à la date $t = 0$, avec une vitesse initiale v_0 nulle.
- Il est soumis à un champ électrostatique \vec{E}_1 , de valeur $3,5 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, toujours orienté dans le sens du mouvement du proton.
- La largeur de la zone de champ électrostatique vaut : $L_1 = 5,0 \text{ cm}$



1. Faire un calcul numérique montrant que le poids du proton est négligeable par rapport à la valeur de la force électrostatique.
2. Citer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique pour montrer que, lors du trajet OA, le proton gagne une énergie cinétique d'expression :

$$\Delta E_c = eE_1 L_1$$

3. Calculer numériquement ΔE_c et en déduire la valeur v_1 de la vitesse atteinte en A.
4. Justifier sans faire de calcul, qu'à chaque traversée de la zone de champ électrostatique, le proton subit toujours la même augmentation d'énergie cinétique.
5. On souhaite que le proton arrive dans le déflecteur avec une vitesse de valeur :

$$v_{\text{déflecteur}} = 3,1 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En utilisant l'affirmation de la question précédente, calculer le nombre N de tours qu'il doit effectuer dans le cyclotron.

6. Le champ \vec{E}_1 est obtenu en imposant une tension électrique U_1 entre les deux parois planes délimitant la zone de champ électrostatique. La valeur du champ créé vaut alors :

$$E_1 = \frac{U_1}{L_1}$$

Quelle conséquence cela a-t-il sur la vitesse atteinte par le proton si l'on augmente la distance L_1 en maintenant constante la tension U_1 ? Exploiter les relations établies aux questions précédentes pour répondre.

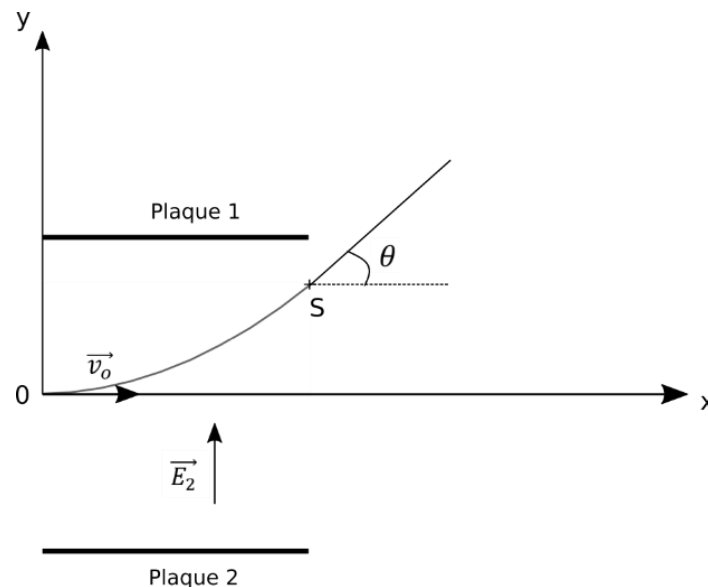
2^{de} partie : le rôle du déflecteur

Après environ 15000 tours dans le cyclotron, le proton a atteint une vitesse gigantesque : on étudie à présent le déflecteur, conçu pour dévier sa trajectoire.

Le déflecteur est constitué de 2 plaques chargées entre lesquelles règne un champ électrostatique uniforme de valeur $E_2 = 6,0 \text{ MV} \cdot \text{m}^{-1}$.

On modélise ainsi la situation :

- Le système étudié est un proton.
- À la date $t = 0$, le proton étudié est situé à l'origine du repère (O, x, y) et possède une vitesse initiale horizontale de valeur $v_0 = 3,1000 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- On néglige toute force s'exerçant sur le proton autre que la force électrostatique.



7. Quel est le signe de la charge électrique portée par la plaque 1 ? Justifier votre réponse sans faire de calcul, en exploitant la figure ci-dessus.
8. Sur la figure 1 de l'**annexe à rendre avec la copie**, représenter sans souci d'échelle : la force électrostatique \vec{F}_e exercée sur le proton ainsi que le vecteur accélération \vec{a} de celui-ci. Justifier le sens et la direction de ces deux vecteurs.
9. Citer et exploiter la 2^{ème} loi de Newton pour exprimer les coordonnées du vecteur accélération \vec{a} du proton dans le repère (O, x, y) .
10. En déduire les expressions des coordonnées de son vecteur vitesse puis celles de son vecteur position dans le repère (O, x, y) .
11. À l'aide des coordonnées du vecteur position, montrer que l'équation de la trajectoire du proton peut s'écrire sous la forme :

$$y(x) = \frac{eE}{2mv_0^2} x^2$$

12. Le proton sort du déflecteur au point noté S. y_S représente sa déviation par le déflecteur. Les plaques du déflecteur ont une longueur $L = 6,0 \text{ cm}$. Calculer la déviation y_S .
13. Exploiter les équations de la question 10 pour calculer la date t_S à laquelle le proton sort du déflecteur.
14. Représenter sans souci d'échelle le vecteur vitesse \vec{v}_S à la sortie du déflecteur sur la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie.

15. Les coordonnées du vecteurs \vec{v}_s peuvent être exprimées en fonction de l'angle θ :

$$\vec{v}_s \begin{cases} v_{sx} = v_0 \\ v_{sy} = v_0 \tan \theta \end{cases}$$

Exploiter ces relations, ainsi que celles obtenues à la question 10, pour montrer que la valeur de l'angle de déflexion θ vaut environ 2° .

16. Le champ électrostatique \vec{E}_2 est obtenu en imposant une tension électrique U_2 entre les deux plaques. Sa valeur est alors :

$$E_2 = \frac{U_2}{d}$$

d étant la distance entre les deux plaques.

Si l'on souhaite augmenter l'angle de déflexion θ , faut-il rapprocher les plaques, les éloigner l'une de l'autre ou bien aucune de ces deux solutions ne convient ? Pour répondre on raisonnera qualitativement à partir des relations obtenues dans cette partie, sans faire de calcul numérique.

Exercice 2 : le beurre est-il rance ? – 5 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

L'acide butanoïque est l'un des composés responsables de l'odeur très forte et du goût piquant de certains fromages et beurres rances.

On se propose d'analyser la qualité d'un beurre en déterminant la teneur en acide butanoïque dans ce beurre.

On choisira de réaliser un titrage afin de faire cette analyse.

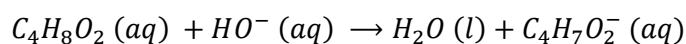
DOCUMENT 1 : protocole du titrage

- Dans un bécher, on introduit 8,0 g de beurre fondu auquel on ajoute un grand volume d'eau distillée. On agite afin de dissoudre dans l'eau la totalité de l'acide butanoïque présent dans le beurre.
- Dans le bécher, on plonge la sonde d'un conductimètre, puis on verse, mL par mL, une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration molaire $C = 4,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.
- Après chaque ajout de solution titrante, on mesure la conductivité σ de la solution dans le bécher.

Hypothèse de travail : on considérera que seul l'acide butanoïque présent dans le beurre fondu réagit.

DOCUMENT 2 : équation de la réaction support du titrage et données

■ Équation de la réaction support du titrage :



■ Données sur l'acide butanoïque :

formule brute $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$
masse molaire : $M_{\text{acide}} = 88 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

DOCUMENT 3 : estimation d'une incertitude par une méthode de type A

On rappelle les différentes formules intervenant dans l'estimation de l'incertitude-type sur le résultat du mesurage d'un ensemble de n valeurs $\{x_1, x_2 \dots x_n\}$ de valeur moyenne \bar{x} :

Écart-type expérimental :

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Incertitude-type de la moyenne des n valeurs :

$$u(\bar{x}) = \frac{s_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

DOCUMENT 4 : comparaison à une valeur de référence

On compare une valeur mesurée x_{mes} à une valeur de référence x_{ref} en calculant le quotient suivant :

$$z = \frac{|x_{mes} - x_{ref}|}{u(x_{mes})}$$

Ce quotient, parfois appelé « z-score », est l'écart rapporté à l'incertitude de mesure.

On conviendra du critère suivant : si $z < 2$ la mesure est jugée compatible avec la valeur de référence.

1. On a vu en terminale les dosages par étalonnage et des dosages par tirage colorimétrique, conductimétrique et pH-métrique. Parmi ces différentes méthodes d'analyse par titrage nommer celle que l'on utilise dans ce protocole et celle que l'on aurait pu aussi utiliser.
2. Le protocole est indiqué dans le document 1. Citer deux propriétés que doit satisfaire une réaction chimique pour pouvoir être support d'un titrage.
3. Donner la définition de l'équivalence d'un titrage.
4. Sur l'**ANNEXE 1 à rendre avec la copie**, compléter le schéma du titrage décrit dans le document 1.
5. En exploitant l'équation du document 2, indiquer s'il s'agit d'une réaction acido-basique ou d'une réaction d'oxydoréduction. Justifier votre réponse en écrivant notamment les couples qui interviennent et en indiquant s'il y a transfert de proton ou d'électron entre les deux couples.
6. En utilisant la courbe se trouvant en **ANNEXE 2 à rendre avec la copie**, déterminer la valeur du volume à l'équivalence. Faire tous les tracés nécessaires sur l'annexe et indiquer la valeur déterminée sur le graphique.
7. Écrire la relation à l'équivalence et en déduire la valeur de la masse notée m_{acide} , d'acide butanoïque présent dans 8,0 g de beurre. La démarche suivie nécessite d'être correctement présentée.
8. La masse d'acide butanoïque a été déterminée expérimentalement par 10 groupes d'élèves ayant analysé un échantillon du même beurre suivant le protocole décrit dans le document 1. Les résultats obtenus sont les suivants :

Groupe n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse d'acide butanoïque dans 8,0 g de beurre (en g)	0,22	0,21	0,24	0,22	0,23	0,21	0,23	0,24	0,22	0,23

Faire les calculs permettant de compléter la phrase suivante en la recopiant sur votre copie :

La masse d'acide butanoïque est de associée à une incertitude-type de

9. L'analyse de ce beurre suite à un contrôle vétérinaire donne : $m = 0,229$ g. Cette valeur étant considérée comme une référence (incertitude-type négligeable devant celle du titrage réalisé par les élèves), valide-t-elle la mesure réalisée par les élèves ?
10. Sachant qu'un beurre est rance si le pourcentage massique d'acide butanoïque qu'il contient est supérieur ou égal à 4 %, indiquer en justifiant si le beurre analysé est rance.

Exercice 3 : transformations de l'urée dans le sol – 5 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger sur une copie séparée des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

Apportée au sol, l'urée, de formule $CO(NH_2)_2$ doit être transformée en ions ammonium (NH_4^+) puis en ions nitrate (NO_3^-) avant que les plantes ne puissent l'absorber.

Les enzymes uréases du sol sont des vecteurs de ce processus qui comporte une étape d'hydrolyse.

Source : d'après <https://www.yara.fr/fertilisation/pur-nutriment/urease-inhibitors>

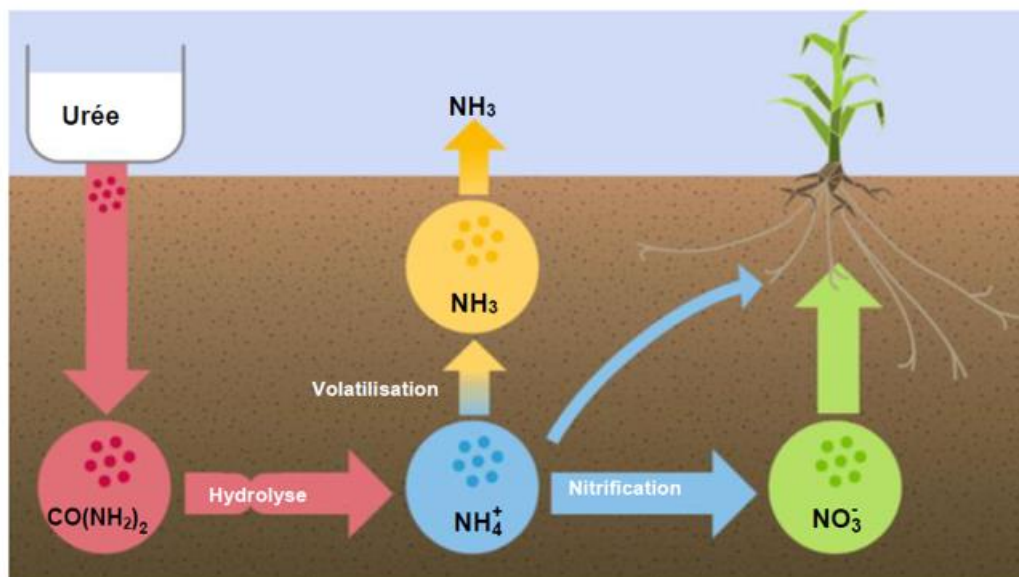
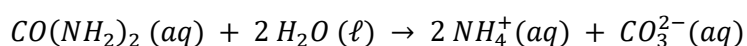


Schéma représentant le processus de transformation de l'urée dans le sol

Source : d'après <https://www.ufarevue.ch/fre/production-vegetale/la-bonne-forme-au-bon-moment>

La réaction d'hydrolyse de l'urée libère des ions ammonium NH_4^+ et carbonate CO_3^{2-} selon la réaction d'équation :



L'objectif de cet exercice est d'étudier la cinétique de cette réaction d'hydrolyse de l'urée.

On réalise pour cela trois expériences de suivi cinétique de celle-ci, où l'eau est toujours en large excès.

Expérience	Concentration initiale en urée	Température
1	0,10 mol. L ⁻¹	75°C
2	0,20 mol. L ⁻¹	75°C
3	0,20 mol. L ⁻¹	95°C

Les courbes tracées grâce à ces expériences sont présentées sur l'annexe à rendre avec la copie.

- Définir le temps de demi-réaction.
- À l'aide des figures 1 à 3 données sur l'annexe à rendre avec la copie, déterminer graphiquement la valeur du temps de demi-réaction pour chacune des trois expériences. Les traits de construction apparaîtront sur chaque courbe.
- En déduire l'influence de la concentration initiale en urée sur la durée de la transformation chimique. Justifier.
- À l'aide des résultats de la question 2, déterminer l'influence de la température sur la durée de la transformation chimique. Justifier.

On s'intéresse désormais **uniquement à l'expérience 1.**

5. Écrire la relation de définition de la vitesse de disparition de l'urée au cours du temps.

La courbe ci-dessous présente l'évolution de la vitesse de disparition de l'urée en fonction de sa concentration :

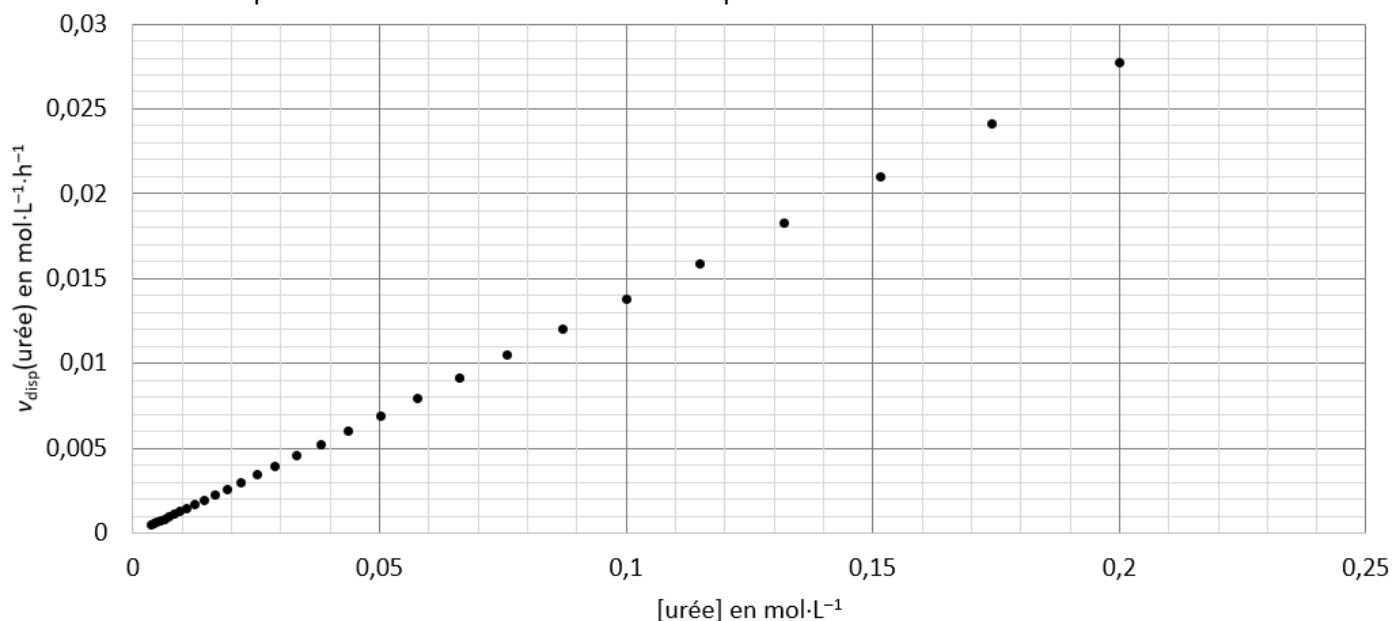


Figure 4 : évolution de la vitesse de disparition de l'urée en fonction de la concentration en urée

6. Utiliser le graphique de l'expérience 1 (Figure 1 en Annexe) pour calculer la valeur de la vitesse initiale de disparition de l'urée. Vérifier que cette valeur est conforme avec un point du graphique de la Figure 4 ci-dessus.
7. En s'appuyant sur le graphique de la Figure 4, justifier qu'il est possible d'affirmer que la réaction d'hydrolyse suit une loi d'ordre 1 par rapport à l'urée.
8. Déterminer graphiquement la constante de vitesse k en h^{-1} .
9. On reproduit l'expérience 1 en présence d'une enzyme naturellement présente dans les sols : l'uréase. On détermine alors un temps de demi-réaction très nettement inférieur à celui calculé à la question 2. Indiquer en justifiant le rôle joué par l'uréase.
10. Sur la **figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie**, tracer l'allure qu'aurait la courbe correspondant à l'expérience 1 en présence d'uréase.

La dissolution de granulés d'urée dans le sol entraîne localement une augmentation temporaire du pH du sol liée à la formation d'ions hydroxyde HO^- . L'ion ammonium, lié aux particules du sol, se transforme alors en ammoniac gazeux (NH_3) qui s'échappe dans l'atmosphère, augmentant les pertes en élément azote par volatilisation (voir le **schéma représentant le processus de transformation de l'urée dans le sol**).

11. La transformation des ions ammonium NH_4^+ en ammoniac gazeux NH_3 fait intervenir les couples acide-base $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ et $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$. Écrire les équations de réactions acido-basiques associées à chacun de ces deux couples acide-base.
12. En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre les ions ammonium NH_4^+ et les ions hydroxyde HO^- .

La nitrification est une réaction d'oxydoréduction qui se réalise en deux étapes, la nitritation et la nitratation. Elle met en jeu les couples d'oxydoréduction $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ et $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$.

13. Écrire les équations de réactions d'oxydoréduction associées à chacun de ces deux couples.
14. En déduire l'équation de la réaction bilan modélisant la transformation chimique entre les ions ammonium NH_4^+ et le dioxygène O_2 .

ANNEXES à rendre avec la copie

ANNEXE à l'exercice 1 à rendre avec la copie

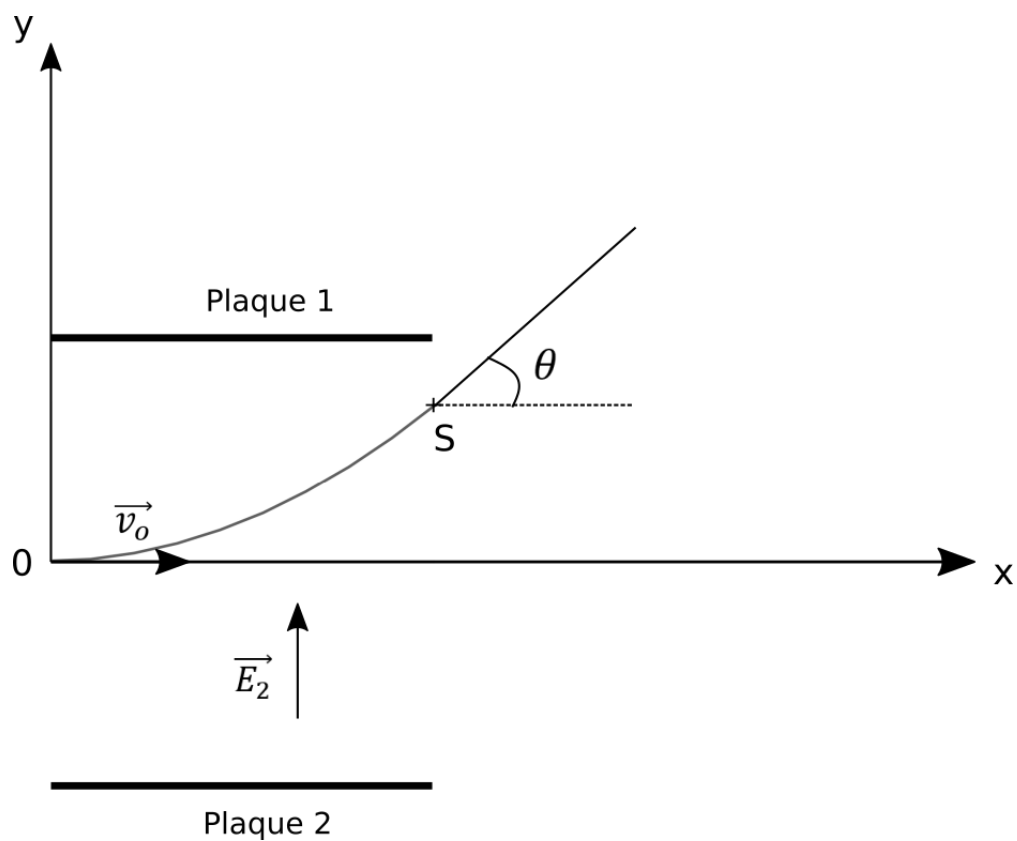
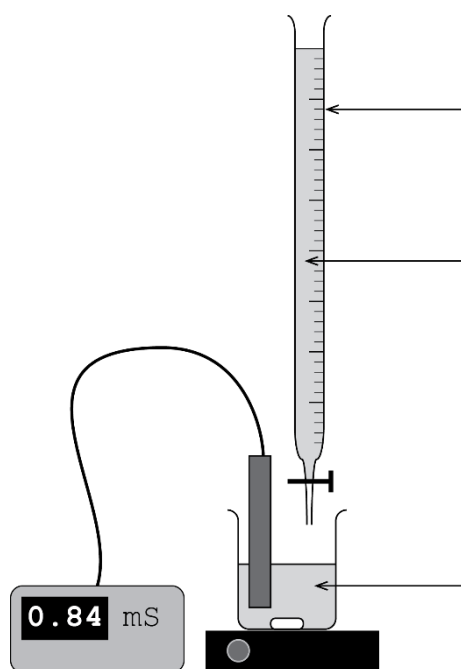


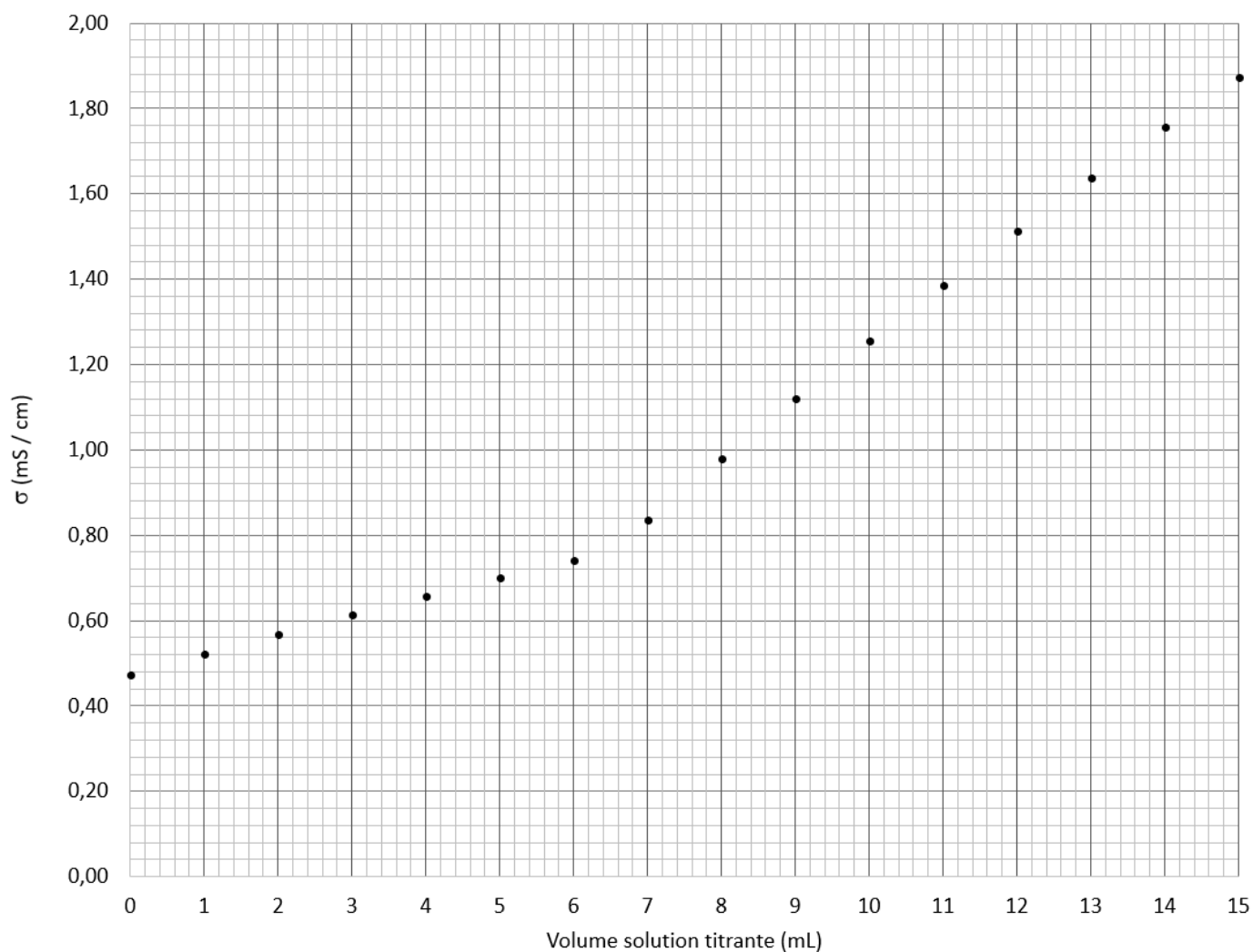
Figure 1 : Schéma de principe du déflecteur à la sortie du cyclotron

ANNEXES à l'exercice 2 à rendre avec la copie

Annexe 1 : schéma du titrage à compléter



Annexe 2 : évolution de la conductivité en fonction du volume lors du titrage



ANNEXE à l'exercice 3 à rendre avec la copie

■ Expérience 1 :

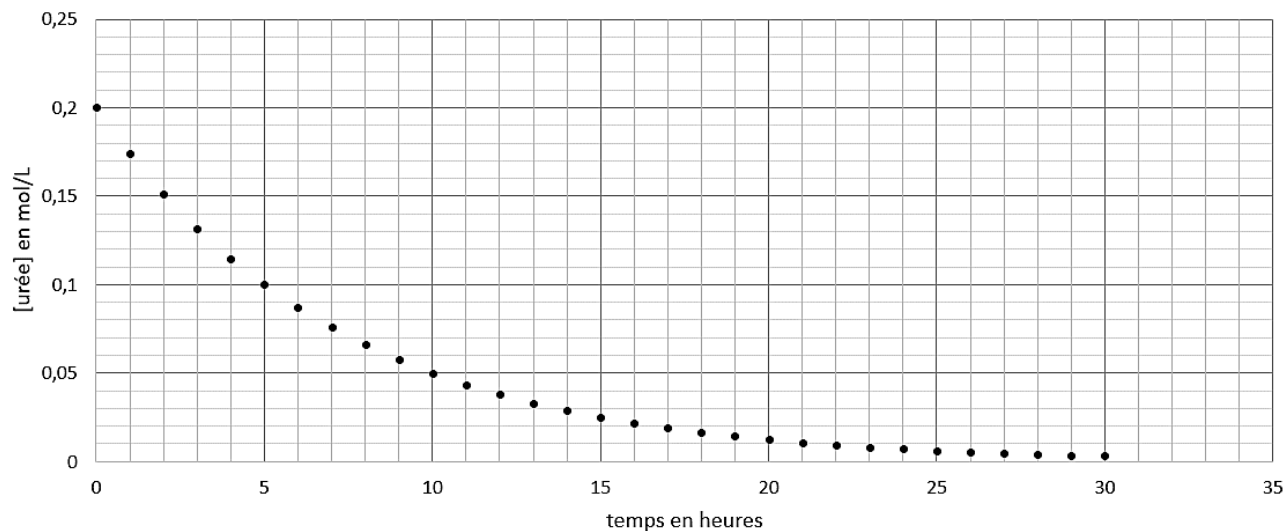


Figure 1 : évolution temporelle de la concentration en urée lors de l'expérience 1

■ Expérience 2 :

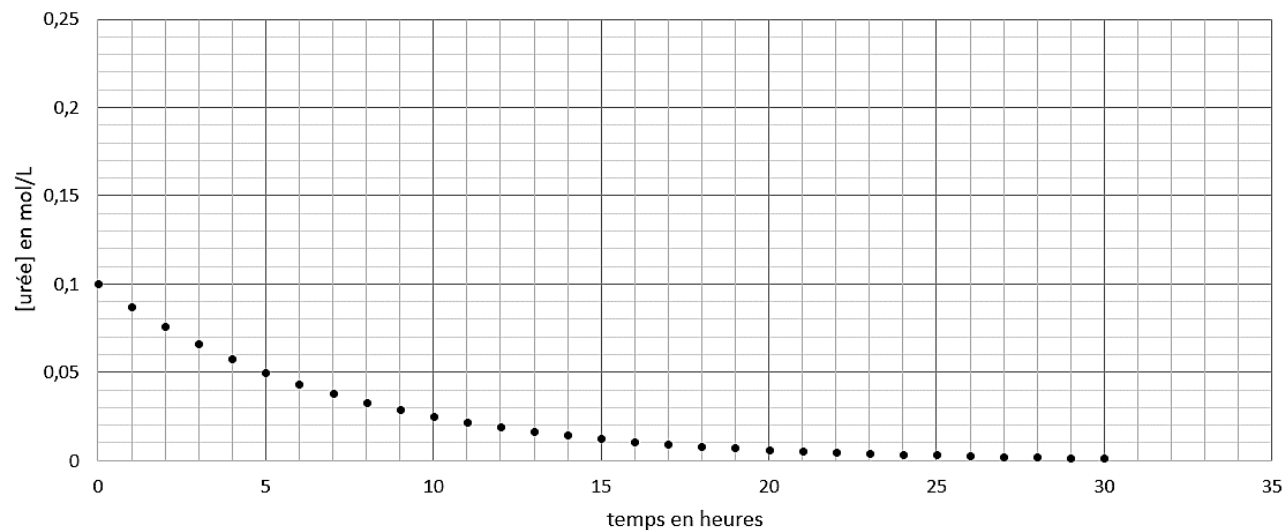


Figure 2 : évolution temporelle de la concentration en urée lors de l'expérience 2

■ Expérience 3 :

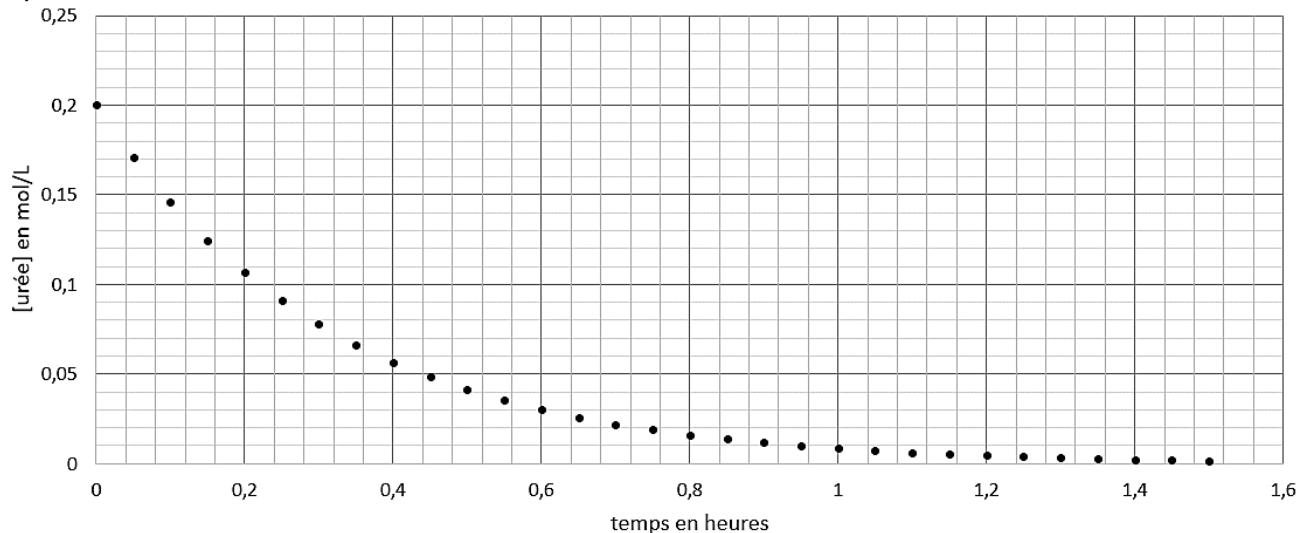


Figure 3 : évolution temporelle de la concentration en urée lors de l'expérience 3