

Terminale S

BAC BLANC - Janvier 2012

Epreuve de Sciences physiques

SPECIALITE PHYSIQUE

Durée : 3 h 30 Coefficient : 8

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

L'usage des calculatrices n'est pas autorisé

Le sujet comporte pages 10 pages.

On utilisera une feuille différente pour chaque exercice.

Le sujet comporte trois exercices indépendants :

EXERCICE I. COMME UN POISSON DANS L'EAU (6,5 points)

EXERCICE II. L'AMERICIUM 241 ET QUELQUES UTILISATIONS INDUSTRIELLES (5,5 points)

EXERCICE III. VISIBILITÉ D'UNE NÉBULEUSE ANNULAIRE (4 points)

EXERCICE I. COMME UN POISSON DANS L'EAU (6,5 points)

L'aquariophilie est une passion qui touche de plus en plus d'amateurs mais aussi de néophytes. De nombreux facteurs peuvent contribuer à un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau.

Le pH de l'eau est la première grandeur qu'il faut mesurer, au moins une fois par semaine, et ajuster éventuellement. En effet, certains poissons ne peuvent évoluer que dans un milieu acide (c'est le cas des poissons d'Amazonie comme les Néons ou les Tétrás), d'autres dans un milieu basique (c'est le cas des poissons d'Amérique Centrale comme les Platy et les Molly). Aucun de ces poissons ne tolère une trop forte teneur en ions ammonium (NH_4^+) ou en ions nitrite (NO_2^-) : le cycle de l'azote doit donc être surveillé en évitant soigneusement la surpopulation de l'aquarium et l'excès de nourriture.

D'après "Poissons et aquariums" - Édition Larousse

L'exercice suivant est destiné à préciser certains points de ce texte. On étudie d'abord un produit commercial utilisé pour diminuer le pH de l'eau de l'aquarium ; on s'intéresse ensuite à la formation des ions ammonium.

Les parties 1. et 2. sont indépendantes.

- Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

- Le logarithme décimal est noté \lg .

1. Étude d'une solution commerciale destinée à diminuer le pH de l'aquarium

Sur l'étiquette du produit on peut lire que la solution commerciale S_0 est constituée d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^- (\text{aq})$) mais aucune concentration n'est indiquée. La transformation conduisant à l'acide chlorhydrique étant totale, la concentration c_0 de la solution commerciale est égale à la concentration en ions H_3O^+ . On cherche à déterminer cette concentration en faisant un titrage pH-métrique. Pour cela on dilue 50 fois la solution commerciale et on procède au titrage d'un volume $V_A = 20,0 \text{ mL}$ de la solution diluée S_A à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium S_B ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On obtient la courbe de la **figure 1**. On a également fait apparaître la courbe représentant la dérivée du pH en fonction du volume de soude versé.

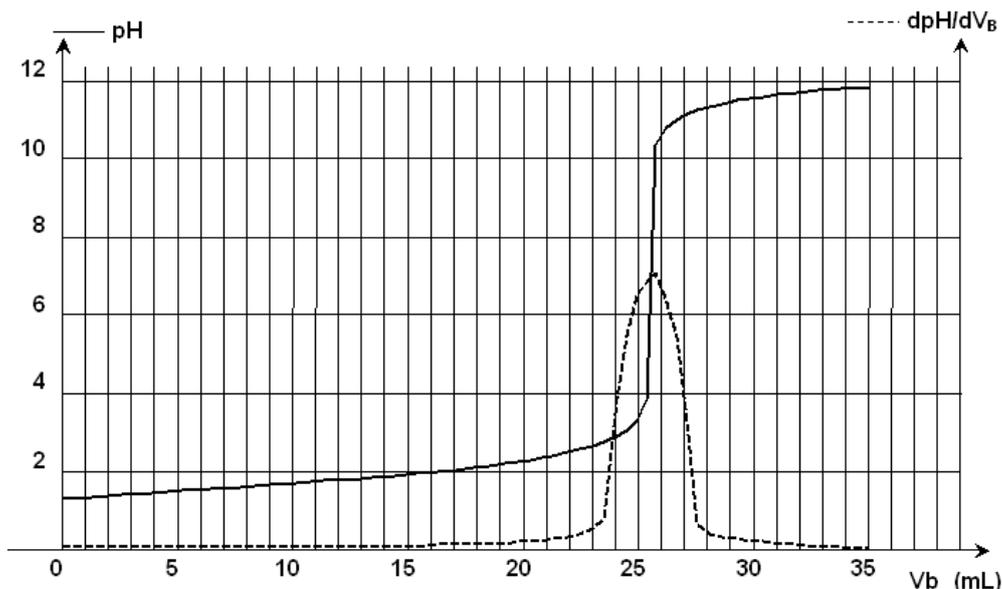


Figure 1 : Titrage de la solution commerciale diluée par la soude

Aide au calcul :

$$\lg 8 \approx 0,9$$

$$\lg 5 \approx 0,7$$

$$10^{6,4} = 2,5 \times 10^6$$

$$10^{-6,4} \approx 4,0 \times 10^{-7}$$

1.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

1.2. Équivalence

1.2.1. Définir l'équivalence.

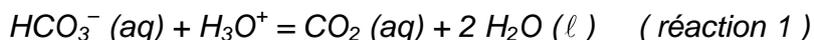
1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée S_A .

1.2.3. Montrer que dans la solution commerciale, la concentration des ions oxonium $[H_3O^+]$ est voisine de $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$. Cette valeur sera utilisée pour la suite de l'exercice.

1.3. On désire diminuer le pH de l'eau de l'aquarium et l'amener à une valeur proche de 6 alors qu'il était initialement égal à 7. Sur le mode d'emploi du fabricant on peut lire qu'il faut verser, en une fois, 20 mL de la solution commerciale dans 100 L d'eau. Pour simplifier le calcul, on considérera que le volume final reste égal à 100 L.

Quelle serait la valeur du pH final de l'eau de l'aquarium s'il n'y avait qu'une simple dilution des ions H_3O^+ ?

1.4. L'eau étant toujours plus ou moins calcaire, elle contient des ions hydrogénocarbonate ($HCO_3^-(aq)$) dont il faut tenir compte. Les ions H_3O^+ introduits vont, en effet, réagir avec ces ions. L'équation associée à la réaction considérée est la suivante :



1.4.1. Donner l'expression de la constante d'équilibre K_1 associée à l'équation de la réaction 1 en fonction des concentrations des différentes espèces chimiques présentes.

1.4.2. Exprimer cette constante d'équilibre en fonction de la constante d'acidité K_A du couple : $CO_2(aq), H_2O / HCO_3^-(aq)$.

Déterminer sa valeur numérique.

Donnée : $K_A = 10^{-6,4}$

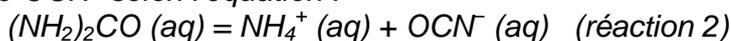
1.5. L'eau utilisée pour l'aquarium est très calcaire. Dans cette eau, les concentrations molaires initiales des espèces mises en jeu dans la réaction 1 sont telles que le quotient de réaction initial de cette réaction vaut : $Q_{r,i} = 5,0$.

1.5.1. On admettra que le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation (1). Le pH final sera-t-il supérieur, égal ou inférieur au pH calculé à la question 1.3. ?

1.5.2. Dans la notice du fabricant on trouve la phrase suivante : "Assurez-vous par des tests réguliers que votre eau est suffisamment calcaire car sinon il pourrait y avoir des risques de chutes acides". Expliquer.

2. Étude de la formation des ions ammonium.

L'urée, de formule $(NH_2)_2CO$, est un polluant de l'aquarium. Elle est contenue dans les déjections de certains poissons et conduit, au cours d'une réaction lente, à la formation d'ions ammonium NH_4^+ et d'ions cyanate OCN^- selon l'équation :



L'étude de la cinétique de cette réaction 2 peut être réalisée par conductimétrie. Pour cela on prépare un volume $V = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à $c = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$ et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à $45 \text{ }^\circ\text{C}$. À différentes dates, on mesure la conductivité de la solution.

La conductivité σ de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions H_3O^+ et HO^- (aq) sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :

$$\sigma = \lambda_{NH_4^+} [NH_4^+] + \lambda_{OCN^-} [OCN^-]$$

2.1. Montrer que la concentration de la solution en ions NH_4^+ (aq) peut être déterminée à partir de la mesure de la conductivité de la solution, les conductivités molaires ioniques étant connues.

2.2. Évolution du système chimique

2.2.1. Compléter littéralement le tableau descriptif de l'évolution du système, figurant **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**.

2.2.2. En déduire la relation, à chaque instant, entre la concentration en ions NH_4^+ (aq) en solution et l'avancement de la réaction.

2.2.3. Calculer l'avancement maximal x_{max} .

2.3. On peut ainsi représenter l'évolution de l'avancement de la réaction en fonction du temps (voir **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**).

En déduire le taux d'avancement de la réaction à l'instant de date $t = 110$ min.

2.4. La vitesse volumique de réaction est donnée par la relation : $v(t) = \frac{1}{V} \left(\frac{dx}{dt} \right)$ où x est l'avancement de la réaction à l'instant de date t et V le volume de la solution.

Décrire, en utilisant la courbe précédente, l'évolution de cette vitesse.

2.5. En poursuivant l'expérience pendant une durée suffisante, on obtient une concentration finale : $[\text{NH}_4^+]_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

Déterminer le taux d'avancement final de cette transformation. Cette transformation est-elle totale ?

2.6. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

2.7. Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de 27°C . Tracer sur la **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE**, l'allure de la courbe précédente à cette température.

2.8. Les ions ammonium finissent par se transformer en ions nitrate dont l'accumulation risque de compromettre la vie des poissons. Ces derniers ions constituent un aliment essentiel pour les plantes vertes de l'aquarium. Expliquer pourquoi dans les livres d'aquariophilie, on dit que l'aquarium doit être "bien planté".

EXERCICE II. L'AMERICIUM 241 ET QUELQUES UTILISATIONS INDUSTRIELLES (5,5 pts)

Une des utilisations industrielles de l'américium 241 est la production de sources de neutrons dans les réacteurs nucléaires pour amorcer la réaction de fission.

D'autre part, certains détecteurs de fumée, équipant encore de nombreuses installations industrielles, malgré les difficultés de recyclage, utilisent aussi l'américium 241.

L'américium est un élément dont l'isotope 241 n'existe pas à l'état naturel. Il est produit dans les réacteurs nucléaires à partir du plutonium 241 (^{241}Pu) par désintégration β .

Dans cet exercice, nous étudierons ces deux utilisations : les sources de neutrons et les détecteurs de fumée.

Données:

- extraits de la classification périodique des éléments :

^3Li lithium	^4Be béryllium	^5B bore	^6C carbone	^7N azote	^8O oxygène	^9F fluor
--------------------------	----------------------------	----------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------	-----------------------

^{92}U uranium	^{93}Np neptunium	^{94}Pu plutonium	^{95}Am américium	^{96}Cm curium	^{97}Bk berkélium	^{98}Cf californium
----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------	---------------------------------

- valeur du temps de demi-vie de l'américium 241 : $t_{1/2} = 433$ années ;
- masse molaire de l'américium 241 : $M(^{241}\text{Am}) = 241 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

1. Obtention de l'américium 241

1.1. Énoncer les règles de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.

1.2. En vous aidant des données, écrire l'équation de la réaction de désintégration β donnant naissance à l'américium 241 à partir du plutonium 241.

2. Désintégration de l'américium 241

2.1. Lors de la désintégration d'un noyau d'américium 241, on obtient un noyau de neptunium 237 et une particule.

Écrire l'équation de cette réaction nucléaire en vous aidant des données. Comment nomme-t-on ce type de désintégration ?

2.2. Le noyau de neptunium est obtenu dans un état excité. Quelle est la nature du rayonnement alors émis ? Quelle est son origine ?

2.3. La loi de décroissance du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon s'exprime par la relation: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.

2.3.1. Que représentent les grandeurs N_0 et λ ? Préciser l'unité de ces grandeurs dans le système international.

2.3.2. Citer les trois paramètres dont dépend le nombre de désintégrations dans un échantillon.

2.4. L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif peut s'exprimer par la relation suivante $A(t) = \lambda \cdot N(t)$.

2.4.1. En déduire la loi de décroissance de l'activité $A(t)$.

2.4.2. Que représente une activité d'un becquerel ?

2.4.3. On prépare à partir d'un échantillon d'américium 241 deux sources secondaires : une première de masse m et une seconde de masse $2m$. Ont-elles la même activité ? Justifier.

2.5. La valeur du temps de demi-vie d'un échantillon d'américium 241 est d'environ 433 années.

2.5.1. Définir le temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ d'un échantillon.

2.5.2. En déduire, en fonction de son activité présente notée A_0 , l'activité d'un échantillon de masse m d'américium 241 : 433 ans plus tard, 1299 ans plus tard.

3. Utilisations industrielles de l'américium 241

3.1. Source de neutrons

Le mélange béryllium - américium sert de source de neutrons pour amorcer des réactions de fission.

Le béryllium 9 réagit avec les particules α émises par l'américium 241 pour donner un noyau $^A_Z X$ et un neutron.

3.1.1. À l'aide du tableau dans les données, écrire l'équation de cette réaction et déterminer la nature du noyau A_ZX .

3.1.2. Les réacteurs nucléaires exploitent l'énergie dégagée par les nombreuses réactions de fission possibles comme par exemple : ${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{36}^{91}\text{Kr} + {}_{56}^{142}\text{Ba} + 3{}_0^1n$

a. En s'appuyant sur l'exemple, définir une réaction de fission nucléaire.

b. Expliquer pourquoi la source d'américium n'est utile qu'au démarrage de la réaction nucléaire.

3.2. Détecteur de fumée

Un détecteur de fumée est constitué d'une chambre de détection dans laquelle se trouvent deux électrodes sous tension et une source contenant quelques dixièmes de milligrammes d'américium (**figure 4**).

Le rayonnement α produit lors de la désintégration de l'américium ionise les molécules contenues dans l'air de la chambre de détection. Les ions et les électrons obtenus sont attirés par la plaque positive ou négative suivant le signe de leur charge. L'ampèremètre détecte un courant dans le circuit.

Quand de la fumée entre dans la chambre de détection, les ions et les électrons se fixent sur les particules contenues dans la fumée. La modification de la valeur de l'intensité du courant déclenche l'alarme.

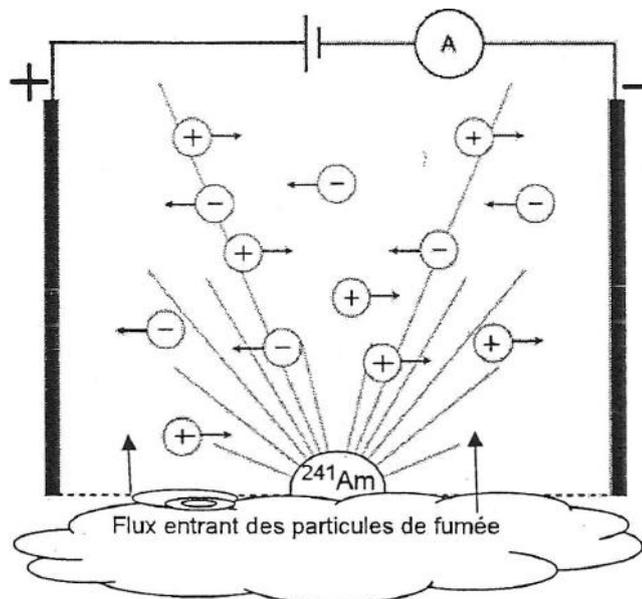


Figure 4. Vue en coupe du détecteur de fumée

Afin de déterminer la masse d'américium contenue dans un détecteur, on mesure l'activité de l'échantillon à un instant de date t_0 . On trouve $A_0 = 2,1 \times 10^7$ Bq.

3.2.1. En vous référant aux questions 2.3 et 2.5.1, montrer que la relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est : $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

3.2.2. En utilisant la relation donnée en 2.4, calculer le nombre N_0 de noyaux présents au moment de la mesure. On donne $\ln 2 = 0,7$ et on considère que 433 années valent 10^{10} s.

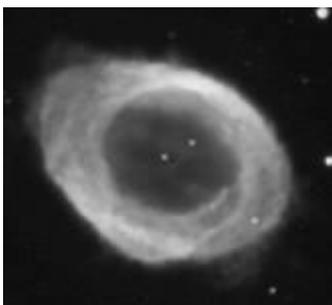
3.2.3. En déduire la quantité de matière n_0 d'américium 241 ainsi que la masse m_0 de l'échantillon en grammes.

EXERCICE III. VISIBILITÉ D'UNE NÉBULEUSE ANNULAIRE (4 points)

L'observatoire du Harvard College aux États-Unis, s'est doté en 1847 d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 38 cm. Il s'agissait d'un instrument remarquable pour l'époque au point de rester célèbre sous le nom de « Grand réfracteur ». Cet instrument a permis de réaliser la première photographie d'une étoile en 1850 : l'astronome W. C. BOND a réalisé des daguerréotypes de l'étoile Véga dans la constellation de la Lyre.

D'après *Astronomie* aux éditions Atlas.

Située près de la constellation de la Lyre, la nébuleuse annulaire de la Lyre (nommée M57) est le prototype des nébuleuses planétaires. Elle s'est formée il y a environ 20 000 ans à partir d'une étoile qui, en explosant, a libéré des gaz ayant une structure que l'on assimilera à un anneau circulaire (photographie ci-dessous).



L'exercice propose de déterminer le diamètre apparent de cette **nébuleuse** que l'on désignera par **M57** dans le texte, observée avec la lunette de l'observatoire de Harvard.

Pour cela, on négligera le phénomène de diffraction qui intervient dans l'utilisation d'une lunette.

On rappelle qu'une lunette est dite afocale lorsque le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire sont confondus.

- Pour les angles petits et exprimés en radians : $\tan \alpha \approx \alpha$
- On prendra comme valeur de l'année de lumière : $1 \text{ a.l.} = 1,00 \times 10^{13} \text{ km}$.

La lunette de l'observatoire de Harvard sera modélisée par un système de deux lentilles minces L_1 et L_2 (voir schémas **DE L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**) :

- ❖ L'objectif (L_1) est une lentille convergente de centre optique O_1 , de diamètre 38,0 cm et de distance focale $f'_1 = 6,80 \text{ m}$.
- ❖ L'oculaire (L_2) est une lentille convergente de centre optique O_2 et de distance focale $f'_2 = 4,0 \text{ cm}$.

1. La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m.

1.1. Montrer que cette lunette est afocale.

1.2. Sur le **schéma 1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, réalisé sans soucis d'échelle, on a représenté les deux lentilles et la position du foyer image F'_1 de l'objectif L_1 .

Sur ce schéma, placer les foyers F_2 et F'_2 de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale.

2. La nébuleuse M 57, supposée à l'infini, est représentée sur le **schéma 1 DE L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** par $A_{\infty}B_{\infty}$ (A_{∞} étant sur l'axe optique). Un rayon lumineux issu de B_{∞} est également représenté.

2.1. Construire, sur le **schéma 1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'image A_1B_1 de l'objet $A_{\infty}B_{\infty}$, donnée par l'objectif.

2.2. On désigne par α le diamètre apparent de la nébuleuse M 57, α est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

Quelle est, en fonction de f'_1 et A_1B_1 , l'expression du diamètre apparent α ?

3. L'oculaire L_2 permet d'obtenir une définitive $A'B'$ de la nébuleuse M 57.

3.1. La lunette étant afocale, où sera située l'image $A'B'$? Justifier la réponse.

3.2. Construire, sur le **schéma 1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, la marche d'un rayon lumineux issu de B_1 permettant de trouver la direction de B' .

4. On désigne par α' le diamètre apparent de l'image $A'B'$ vue à travers la lunette, α' est l'angle sous lequel on voit l'image donnée par l'instrument.

4.1. Exprimer le diamètre apparent α' en fonction de f'_2 et A_1B_1 .

4.2. On appelle grossissement G d'un instrument d'optique le rapport $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$.

Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement G de la lunette de l'observatoire de Harvard, puis sa valeur numérique.

5. Application.

La nébuleuse M 57, située à la distance $L \approx 2600$ a.l. de la Terre a un diamètre D :

$$D = A_{\infty}B_{\infty} = 1,3 \times 10^{13} \text{ km.}$$

5.1. Sachant que l'œil voit comme un point tout objet de diamètre apparent inférieur à $3,0 \times 10^{-4}$ rad, montrer qu'il peut théoriquement distinguer les points A_{∞} et B_{∞} .

5.2. En réalité, la nébuleuse M57 n'est pas observable à l'œil nu, mais, à travers la lunette, elle devient faiblement visible.

Proposer une explication.

Quel est, à votre avis, l'intérêt d'utiliser pour les observations, des lunettes (et actuellement des télescopes) qui ont un objectif de diamètre est de plus en plus grand ?

5.3. Calculer le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard.

6. Position de l'œil.

Lors d'une observation, on place l'œil derrière l'oculaire dans une zone appelée « cercle oculaire ».

6.1. Définir le cercle oculaire.

6.2. Pourquoi est-il indiqué de placer l'œil à cet endroit ?

6.3. Construire, sur le **schéma 2 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, le cercle oculaire.

ANNEXE RELATIVE A L'EXERCICE 1 À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

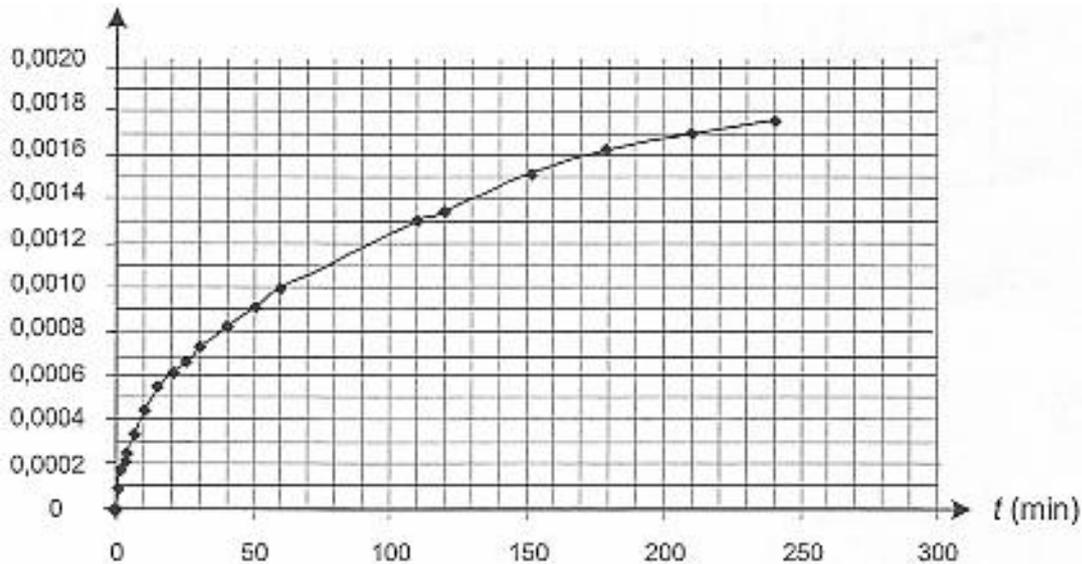
2. Étude de la formation des ions ammonium.

Tableau d'évolution du système chimique

État	Avancement (mol)	$(\text{NH}_2)_2\text{CO (aq)} = \text{NH}_4^+ \text{(aq)} + \text{OCN}^- \text{(aq)}$		
		Quantités de matière (mol)		
		$(\text{NH}_2)_2\text{CO (aq)}$	$\text{NH}_4^+ \text{(aq)}$	$\text{OCN}^- \text{(aq)}$
État initial	$x = 0$			
État en cours d'évolution	x			
État final en supposant la transformation totale	x_{max}			

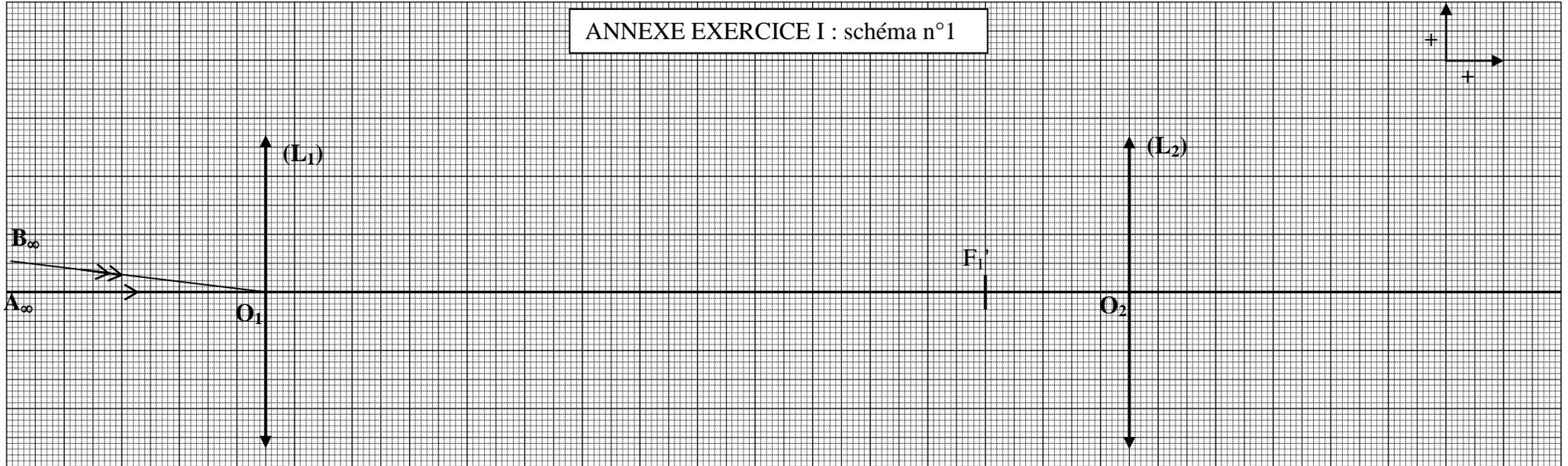
Figure 2 : Cinétique de la décomposition de l'urée.

Avancement x en mol.



ANNEXE RELATIVE A L'EXERCICE 3 À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

ANNEXE EXERCICE I : schéma n°1



ANNEXE EXERCICE I : schéma n°2

