

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2011

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 6

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

**Ce sujet ne nécessite pas de papier millimétré**

Ce sujet comporte deux exercices de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci.

**La page d'annexes (page 11) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.**

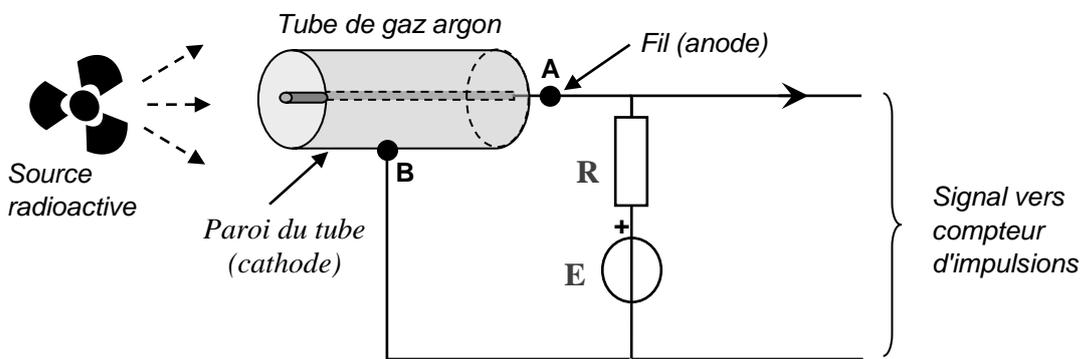
Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

## EXERCICE I. RADIOACTIVITÉ TELLURIQUE (6 points)

Les parties 1, 2 de cet exercice sont indépendantes.

### 1. Le compteur Geiger Müller

Le tube compteur Geiger Müller, mis au point en 1928, est aujourd'hui encore un appareil indispensable pour la mise en évidence d'un rayonnement radioactif. Il est constitué d'un tube cylindrique rempli d'argon sous faible pression, dans lequel un fil conducteur est tendu le long de son axe (le schéma est représenté sur la figure 1a). Une tension  $E$  continue de quelques centaines de volts est appliquée en permanence entre la paroi cylindrique du tube, qui sert de cathode, et le fil, qui joue le rôle de l'anode via un conducteur ohmique de résistance  $R$ .



#### 1.1. Circuit RC

Figure 1a

Le tube constitué de la paroi extérieure et du fil central, rempli d'argon, soumis à la tension  $E = 500$  V, forme un condensateur de forme cylindrique, de faible capacité  $C = 1,0 \times 10^{-11}$  F. L'association du tube et du conducteur ohmique constitue donc un circuit RC série schématisé sur la figure 1b ci-dessous.

Par souci de simplification, le tube est modélisé par un condensateur plan.

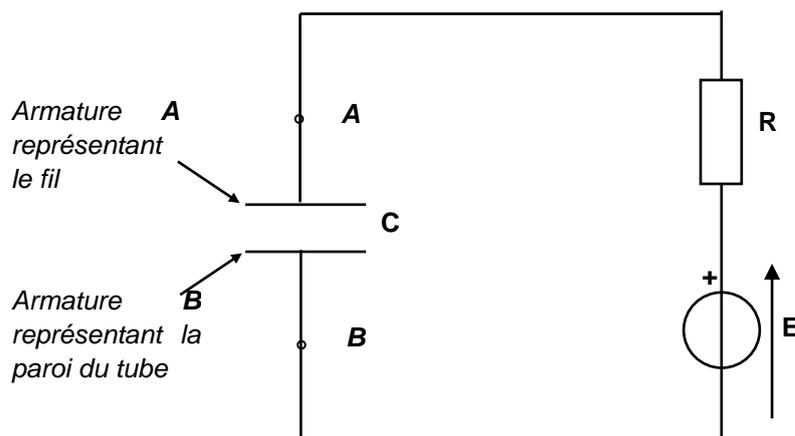


Figure 1b

**1.1.1.** Sur le schéma électrique simplifié du circuit reproduit sur la copie, représenter la flèche tension  $u_C$  aux bornes du condensateur en respectant la convention récepteur,  $q$  désignant la charge du condensateur.

**1.1.2.** Rappeler l'expression de l'intensité  $i$  du courant électrique en fonction de la charge  $q$ .

- 1.1.3. En déduire la valeur de l'intensité  $I$  du courant, une fois que le condensateur a atteint sa charge maximale  $Q$ . Justifier.
- 1.1.4. Calculer la valeur de la charge  $Q$  du condensateur dans ces conditions.
- 1.1.5. En raisonnant sur le schéma simplifié de la question 1.1.1, indiquer par des signes (+) et (-), la répartition des charges sur les armatures du condensateur lorsqu'il est chargé.

## 1.2. Impulsion de décharge

Dans le tube, une particule émise par désintégration radioactive ionise des atomes d'argon sur sa trajectoire. Chaque atome ionisé donne naissance à deux particules : un ion argon et un électron. Les ions positifs dérivent vers la paroi du tube. Les électrons sont accélérés vers le fil et provoquent par collisions successives d'autres ionisations. Il en résulte alors une brève diminution de tension entre les électrodes du tube, appelée « impulsion de décharge ». Un compteur enregistre le nombre d'impulsions relevées pendant une durée de comptage donnée.

- 1.2.1. La durée moyenne d'une impulsion de décharge consécutive à la détection d'une particule est  $\Delta t = 0,10$  ms. Pour un bon fonctionnement du compteur Geiger Müller, la valeur de la constante de temps  $\tau$  du circuit RC vérifie la condition :  $\tau = 2.\Delta t$ . Calculer la valeur de la résistance  $R$ .
- 1.2.2. D'après le texte, justifier que la traversée de la particule entraîne une diminution de la charge  $q$  de l'anode.
- 1.2.3. Expliquer l'affirmation du texte : « Il en résulte alors une brève diminution de tension entre les électrodes du tube ».
- 1.2.4. Pour modéliser le phénomène, on considère que le passage de la particule dans le tube engendre  $N$  électrons et  $N$  ions argon.  
Montrer que la diminution de tension entre les bornes du condensateur est :

$$\Delta u_C = - \frac{N.e}{C} \text{ avec } e: \text{ charge élémentaire positive.}$$

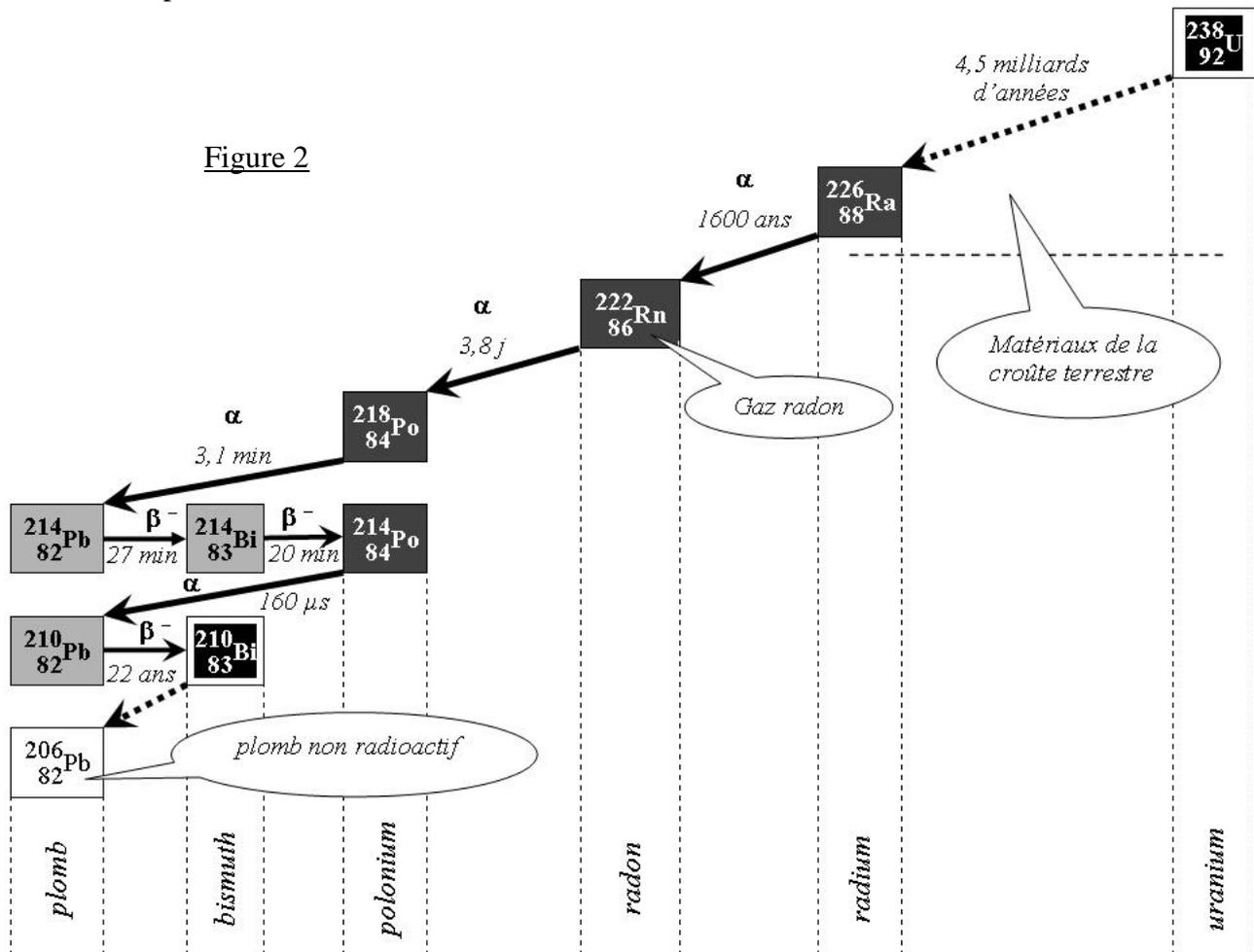
## 2. Le Radon « pollueur » des sous-sols

Les roches de l'écorce terrestre renferment de l'uranium 238 radioactif. Après plusieurs désintégrations successives, il se forme du radon 222, principal responsable de la radioactivité dite tellurique. Ce radon s'échappe, à l'état gazeux, des roches et s'infiltré dans les fissures des fondations des bâtiments et s'accumule dans les locaux non ventilés.

### 2.1. Famille de l'uranium 238

Les descendants du radon 222 appartiennent à la famille décrite dans la figure 2 de la page suivante : chaque flèche pleine désigne une désintégration, les flèches en pointillés représentent une succession de désintégrations.

- 2.1.1. Indiquer la composition du noyau de radon 222.
- 2.1.2. Que peut-on dire des noyaux représentés sur une même verticale de la figure 2 ? Justifier.
- 2.1.3. Écrire l'équation de désintégration du radon 222 et celle du plomb 214.
- 2.1.4. La grandeur  $t_{1/2}$  est reportée sur la flèche de désintégration de chaque noyau de la figure 2. Quels sont le nom et la signification de  $t_{1/2}$  ? Donner sa valeur pour le polonium 218.



## 2.2. Détection par le compteur

Un aspirateur muni d'un filtre permet de récupérer des poussières de l'air ambiant. On étudie alors l'évolution temporelle de la radioactivité de ces poussières à l'aide d'un compteur Geiger Müller. L'activité mesurée est celle des noyaux descendants du radon 222, fixés sur des microparticules piégées dans le filtre.

L'objectif de cette partie est de montrer que deux noyaux descendants de la famille de l'uranium 238 sont principalement détectés par le compteur Geiger Müller.

- 2.2.1. On transporte le filtre et on le dépose dans le détecteur **une dizaine** de minutes après l'aspiration.  
Par combien est approximativement divisé le nombre de noyaux de polonium 218

entre la fin de l'aspiration et le début des mesures dans le détecteur : par 2, 4, 6 ou 8 ? Justifier.

**2.2.2.** On admet que l'activité du polonium 218 dans le local aspiré, proportionnelle au nombre de noyaux  $^{218}\text{Po}$ , est comparable à celle des autres noyaux.

En déduire que la contribution du polonium 218 à la radioactivité de l'échantillon introduit plus tard dans le détecteur peut être négligée.

**2.2.3.** Ayant pris soin de ne pas soulever les poussières déposées depuis très longtemps dans le local où l'air ambiant est aspiré, on admettra que le plomb 210 ne participe pas à la radioactivité de l'échantillon recueilli, ni ses descendants.

En conclusion, quels sont les seuls noyaux radioactifs émetteurs  $\beta^-$  qui contribuent à l'activité mesurée par le détecteur ?

## EXERCICE II. COMME UN POISSON DANS L'EAU (6 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 Tétras), 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 ( $\text{NH}_4^+$ ) ou en ions nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) : 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.

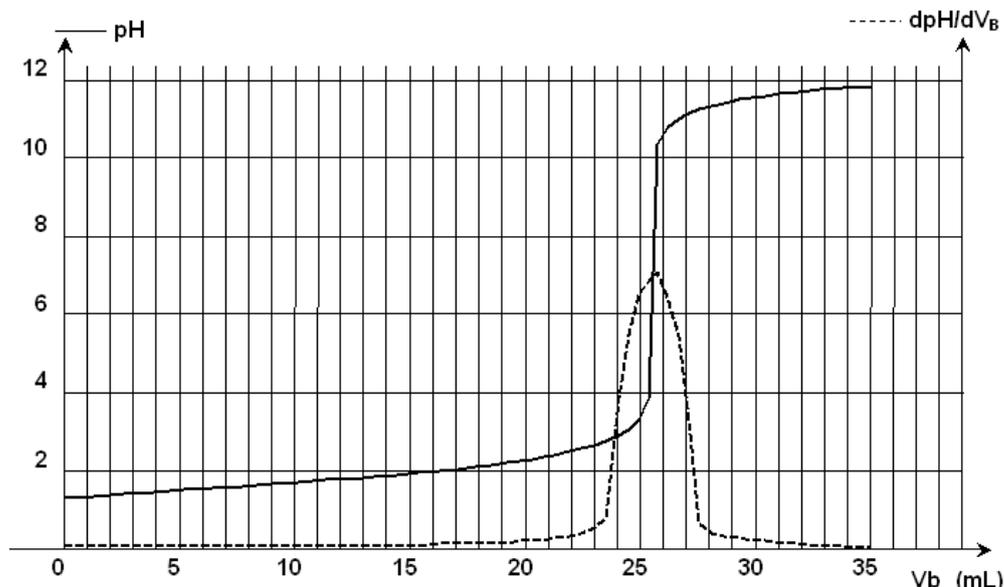
**Les parties 1. et 2. sont indépendantes.**

- 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  $\text{H}_3\text{O}^+$ . 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 :  
Titration de la  
solution  
commerciale  
diluée par la  
soude



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

1.2. Équivalence

1.2.1. Définir l'équivalence.

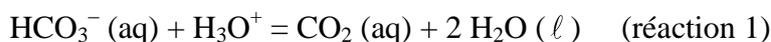
1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée  $S_A$ .

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 :  $Q_{r,i} = 5,0$ .

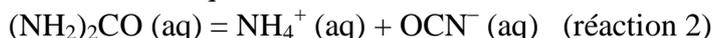
1.5.1. En déduire que des ions  $H_3O^+$  sont consommés si l'eau est calcaire.

1.5.2. Le pH final sera-t-il supérieur, égal ou inférieur au pH calculé à la question 1.3. ?

**1.5.3.** 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  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , 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  $\text{NH}_4^+$  et d'ions cyanate  $\text{OCN}^-$  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  $\sigma$  de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{HO}^-$  (aq) sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :

$$\sigma = \lambda_{\text{NH}_4^+} [\text{NH}_4^+] + \lambda_{\text{OCN}^-} [\text{OCN}^-]$$

**2.1.** Montrer que la concentration de la solution en ions  $\text{NH}_4^+$  (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  $\text{NH}_4^+$  (aq) en solution et l'avancement de la réaction.

**2.2.3.** Calculer l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$ .

**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  $t = 110 \text{ min}$ .

**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 ?

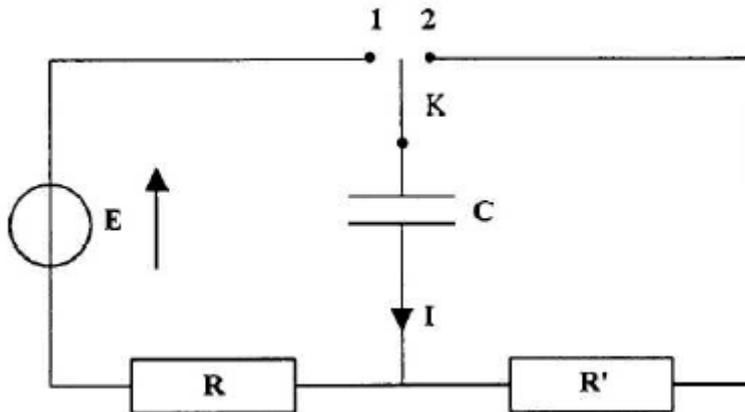
**2.6.** Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

**2.7.** Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de  $27^\circ\text{C}$ . 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 III. MÉTHODE D'EULER (4 points)**

On étudie la charge d'un condensateur à travers un conducteur ohmique. Pour cela on réalise le montage suivant :



**Données :**  $R = 2,2 \text{ k}\Omega$  ;  $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$  ;  $R' = 10 \text{ k}\Omega$  et  $E = 5,0\text{V}$ .

1. Établir l'équation différentielle  $E = RC \frac{du_C}{dt} + u_C$  vérifiée par la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur pendant la phase de charge.
2. La méthode d'Euler permet de calculer, pas à pas, les valeurs de  $u_C$  et de  $\frac{\Delta u_C}{\Delta t}$  à intervalles de temps réguliers choisis  $\Delta t$ . **Si  $\Delta t$  est considéré comme suffisamment petit dans le cadre de l'expérience**, on peut écrire :  

$$\Delta u_C(t) = u_C(t + \Delta t) - u_C(t)$$
. On choisit  $\Delta t = 1,0 \text{ ms}$ .

**2.1.** A l'aide de l'équation différentielle établie précédemment :

- Exprimer  $\Delta u_C(t)$ ,
- Déterminer la valeur de  $\Delta u_C(t)$  à  $t = 0\text{s}$ .

**2.2.** Exprimer  $u_C(t + \Delta t)$  en fonction de  $u_C(t)$  et  $\Delta u_C(t)$ .

Calculer  $u_C(1\text{ms})$  puis  $\Delta u_C(1\text{ms})$ .

**2.3.** A l'aide de la méthode d'Euler, recopier et compléter le tableau suivant :

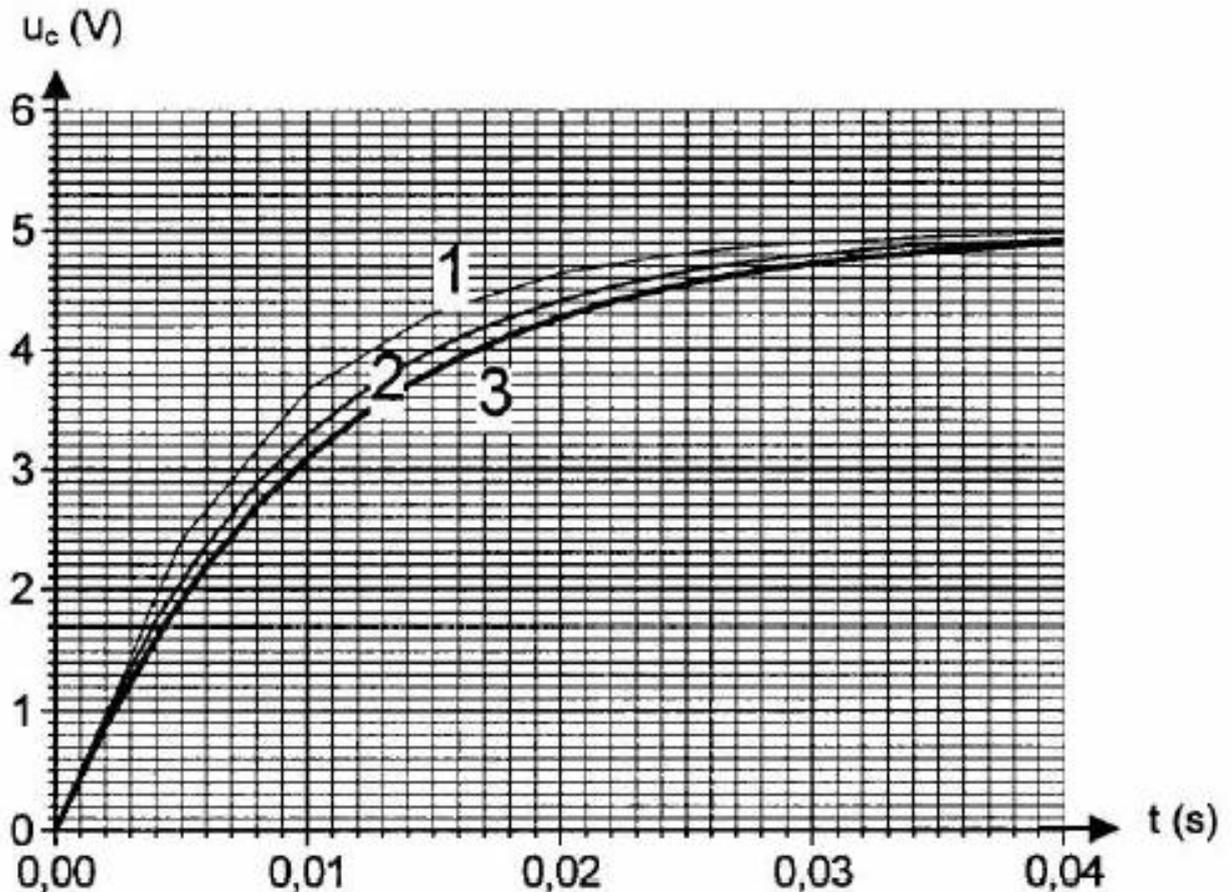
t (en ms)	$u_C(t)$ (en V)	$\Delta u_C(t)$
0	0	
1		
2		
3		

3. Sur le graphe on a représenté trois situations différentes :
- Courbe 1 : Courbe Euler obtenue avec  $\Delta t = 5,0$  ms,
  - Courbe 2 : Courbe Euler obtenue avec  $\Delta t = 2,0$  ms,
  - Courbe 3 : Solution algébrique de l'équation différentielle.

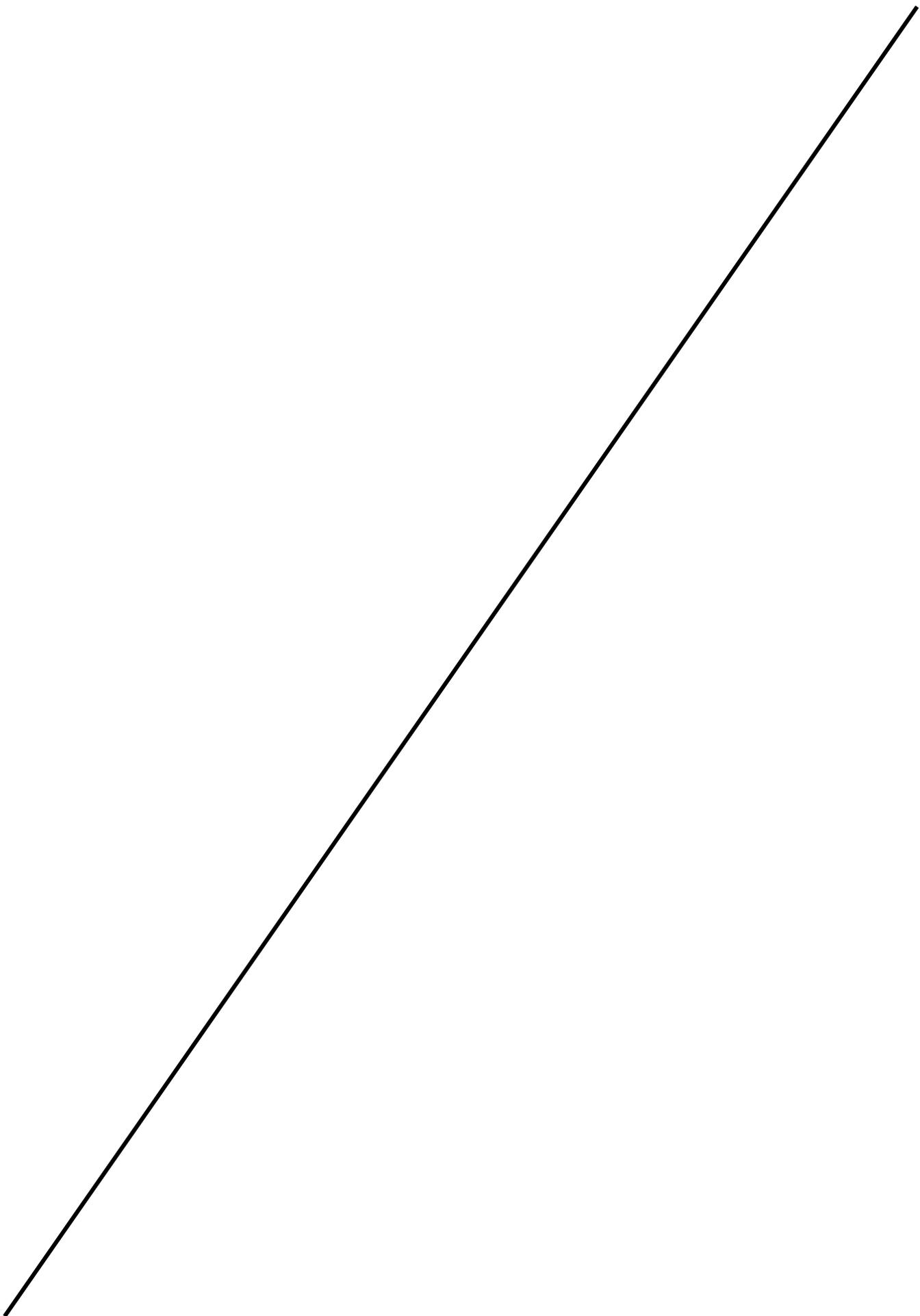
3.1. Quelle est l'influence du pas  $\Delta t$  sur la précision de la méthode d'Euler ?

3.2. Qu'entend-on par « *Si  $\Delta t$  est considéré comme suffisamment petit dans le cadre de l'expérience* » à la question 2 ? (Comparer  $\Delta t$  et le temps caractéristique du dipôle RC.)

4. Déterminer, par une méthode graphique expliquée sur la copie, cette constante de temps  $\tau$ .



5. Donner son expression et vérifier que  $\tau$  est homogène à un temps.
6. En déduire la valeur expérimentale de  $C$  et la comparer à la valeur annoncée.
7. On bascule l'interrupteur en position 2. En justifiant, répondre « Vrai » ou « Faux » aux 2 affirmations suivantes :
- La durée de la décharge du condensateur est supérieure à celle de la charge.
  - La constante de temps du circuit lors de la décharge est égale à  $(R+R') \times C$ .



**ANNEXE DE L'EXERCICE II**

**Question 2.2.1.** Étude de la formation des ions ammonium : Tableau d'évolution du système chimique

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

**Questions 2.3. et 2.7.** Cinétique

