

## I. Déchets radioactifs et réaction de l'ammoniac avec l'eau

- Cet exercice comporte deux parties indépendantes. La première partie traite des déchets radioactifs et la seconde traite de la réaction de l'ammoniac avec l'eau.
- Les parties 1. et 2. sont indépendantes.**

### 1. Étude de déchets radioactifs

- Données :**

Nombre d'Avogadro $N_A$	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Unité de masse atomique	$1 \text{ u} = 1,660 54 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Électronvolt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Mégaélectronvolt	$1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \text{ eV}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Nom du noyau ou de la particule	Uranium (238)	Uranium (239)	Neptunium (239)	Plutonium (239)	Neutron	Proton	Électron
Symbole	${}_{92}^{238}\text{U}$	${}_{92}^{239}\text{U}$	${}_{93}^{239}\text{Np}$	${}_{94}^{239}\text{Pu}$	${}_0^1\text{n}$	${}_1^1\text{p}$	${}_{-1}^0\text{e}$
Masse (en u)	238,050 79	239,054 29	239,052 94	239,052 16	1,008 66	1,007 83	0,000 55

#### 1.1. Un déchet radioactif à vie courte dans le lait de vache

- Le lait de vache contient du césium 137 dont l'activité est de l'ordre de 0,22 Bq pour un litre. La demi-vie du césium 137 est égale à environ 30 ans.
- On considère que la radioactivité du lait de vache est due uniquement à la présence de césium 137.

1.1.1. Qu'est-ce qu'une particule  $\alpha$  ? Donner sa représentation symbolique sous la forme  ${}_Z^A X$ .

1.1.2. Qu'est-ce qu'une particule  $\beta^-$  ? Qu'est-ce qu'une particule  $\beta^+$  ?

1.1.3. Combien de désintégrations par seconde se produit-il dans un litre de lait ?

1.1.4. Donner la définition de la demi-vie d'un élément radioactif.

1.1.5. Donner la loi de décroissance radioactive.

1.1.6. À l'aide des réponses obtenues aux questions 1.1.4. et 1.1.5., démontrer la relation suivante :

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \text{ où } \lambda \text{ représente la constante radioactive de l'élément radioactif considéré et } t_{1/2} \text{ sa demi-vie.}$$

1.1.7. En déduire la valeur de la constante radioactive du césium 137 en  $\text{an}^{-1}$  puis en  $\text{s}^{-1}$ .

1.1.8. Déterminer le nombre de noyaux radioactifs de césium 137 présents dans un litre de lait.

1.1.9. En déduire la concentration molaire volumique en césium 137 du lait de vache.

1.1.10. On prend comme origine des dates l'instant où on mesure l'activité d'un litre de lait de vache soit lorsque  $A = 0,22 \text{ Bq}$ .

Au bout de combien de temps ne restera-t-il plus que 1% de cette activité ?

#### 1.2. Les déchets radioactifs à vie longue

« Le plutonium, de numéro atomique 94, est radioactif. Sa demi-vie est égale à 24 000 ans. Il en existe donc peu à l'état naturel. En revanche, il s'en forme dans le cœur des réacteurs nucléaires, par une réaction en chaîne. Quand un noyau d'uranium 238 capture un neutron, il se transforme en uranium 239. (...)

En libérant un électron, l'uranium 239 se transforme en neptunium 239. Cet élément libère à son tour un électron et donne ainsi naissance au plutonium 239 ( ${}^{239}\text{Pu}$ ). »

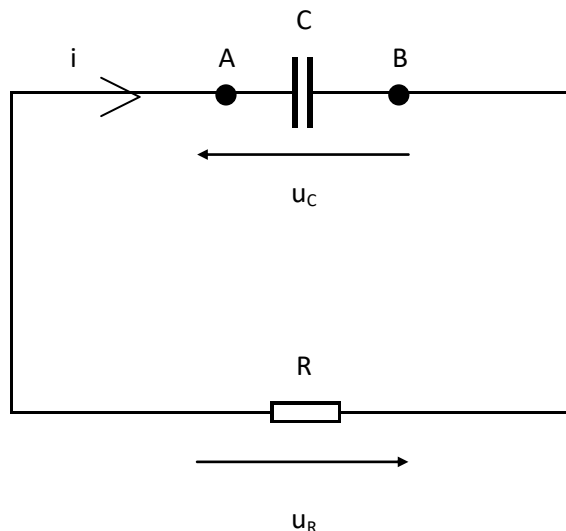
- 1.2.1. Ecrire l'équation de réaction nucléaire correspondant à la capture d'un neutron par l'uranium 238 en énonçant les lois de conservation utilisées.
- 1.2.2. L'uranium 239 et le plutonium 239 sont-ils des isotopes ? Justifier.
- 1.2.3. Écrire l'équation de désintégration qui permet de passer de l'uranium 239 au neptunium 239 puis celle qui permet de passer du neptunium 239 au plutonium 239.
- 1.2.4. Calculer l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau d'uranium 239 en neptunium 239. Convertir le résultat en eV.
- 1.2.5. En déduire l'énergie libérée par 1,0 g d'uranium 239.

## 2. Evolution de la réaction de l'ammoniac avec l'eau

- Une bouteille d'ammoniac du commerce comporte l'indication 22 ° Bé, ce qui correspond à une concentration molaire  $C_0 = 10,9 \text{ mol.L}^{-1}$ . Cette solution sera nommée  $S_0$ .
  - Dans une solution aqueuse d'ammoniac, l'équilibre entre l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et les ions ammonium  $\text{NH}_4^+$  s'écrit :  $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{HO}^-(\text{aq}) + \text{NH}_4^+(\text{aq})$ .
  - **Données** (valeurs à 25 °C) : Quotient de la réaction de l'ammoniac avec l'eau à l'équilibre :  $Q_{R,\text{éq}} = 1,58 \cdot 10^{-5}$   
Produit ionique de l'eau :  $K_E = 1,00 \cdot 10^{-14}$
  - La « basicité » de la solution  $S_0$  étant trop élevée pour être mesurée directement au pH-mètre, on prépare 50,0 mL d'une solution diluée  $S_1$  de concentration  $C_1 = \frac{C_0}{10}$ .
  - Le pH mesuré de  $S_1$  est 11,62.
- 2.1. Quel volume de la solution  $S_0$  doit-on prélever pour préparer la solution  $S_1$  ?
  - 2.2. Proposer un mode opératoire pour préparer la solution  $S_1$ .
  - 2.3. Montrer que la concentration en ion hydroxyde dans la solution  $S_1$  est :  $[\text{HO}^-]_{(S_1)} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$
  - 2.4. Compléter le tableau d'avancement donné en annexe pour la réaction de l'ammoniac avec l'eau dans la solution  $S_1$  en considérant un volume  $V_1 = 1,0 \text{ L}$ .
  - 2.5. En déduire la valeur du taux d'avancement final  $\tau_1$ . Commenter le résultat obtenu.
  - 2.6. Calculer le quotient de réaction  $Q_{r1}$  à l'état final et montrer que le système est à l'équilibre aux incertitudes de mesure près.

## II. Décharge d'un condensateur

- On envisage le circuit suivant constitué d'un conducteur ohmique de résistance  $R$  et d'un condensateur de capacité  $C$ .



- A l'instant  $t = 0$ , le condensateur est chargé sous la tension  $U_0 = 10 \text{ V}$ .
- On notera :
  - $u_C$  la tension aux bornes du condensateur à l'instant  $t$ , et l'on a  $u_C(0) = U_0$
  - $u_R$  la tension aux bornes du conducteur ohmique à l'instant  $t$ ,
  - $i$  l'intensité du courant à l'instant  $t$ . Cette intensité a été comptée positivement au cours de la charge du condensateur,
  - $q_A$  la charge de l'armature A du condensateur à l'instant  $t$ .

### 1. Établissement de l'équation différentielle lors de la décharge

- 1.1. Quelle relation lie  $u_R$  et  $u_C$  ?
- 1.2. Rappeler la relation qui lie la charge  $q_A$  de l'armature A à la tension  $u_C$

1.3. Quel est le signe de  $i$  ? Établir la relation liant l'intensité  $i$  du courant à la tension  $u_C$ .

1.4. Montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de  $u_C$  peut s'écrire :

$$\alpha u_C + \frac{du_C}{dt} = 0 \text{ où } \alpha \text{ est une constante non nulle.}$$

Donner alors l'expression de  $\alpha$  en fonction de  $R$  et  $C$ .

## 2. Solution de l'équation différentielle

• Une solution de l'équation différentielle peut s'écrire  $u_C = Ae^{-\beta t}$  où  $A$  et  $\beta$  sont deux constantes positives non nulles.

2.1. En utilisant l'équation différentielle, montrer que  $\beta = \frac{1}{RC}$

2.2. Déterminer la valeur de  $A$ .

2.3. Indiquer parmi les **courbes 1 et 2** données sur **page 9**, celle qui peut représenter  $u_C$ . Justifier la réponse.

2.4. Donner l'expression littérale de la constante de temps  $\tau$ .

2.5. Montrer par analyse dimensionnelle que  $\tau$  a la même unité qu'une durée.

2.6. Déterminer sur la courbe choisie la valeur de la constante de temps  $\tau$  du circuit.

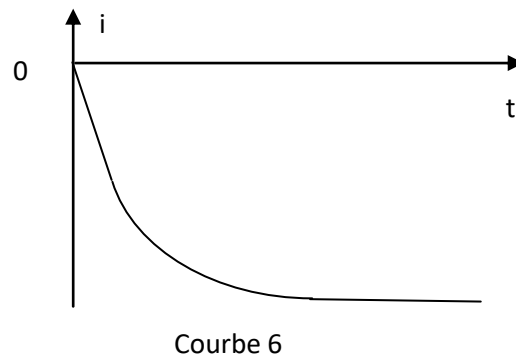
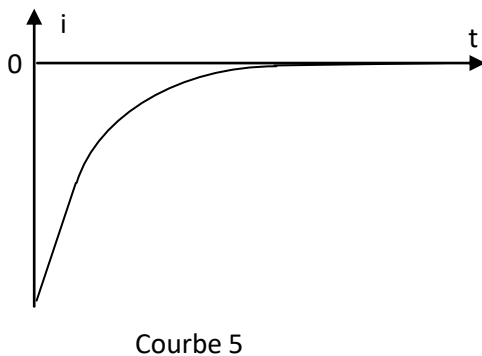
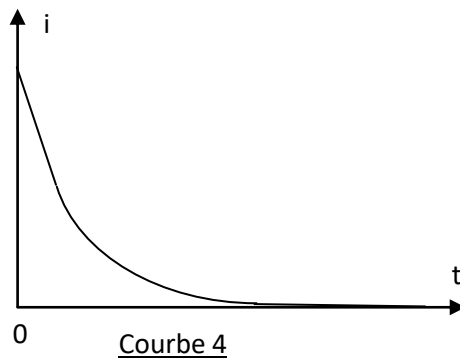
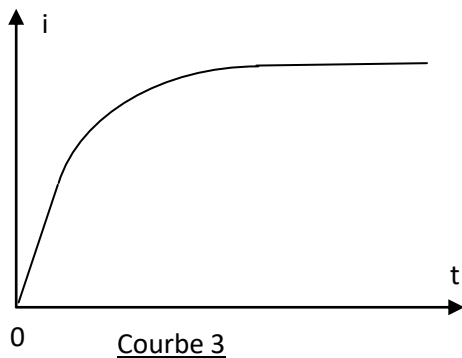
2.7. Sachant que  $R = 33 \Omega$ , en déduire la valeur de la capacité  $C$  du condensateur.

## 3. Intensité du courant

3.1. En utilisant les résultats précédents, montrer que  $i = -\frac{U_0}{R} e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)}$ .

3.2. Déterminer la valeur  $I_0$  de  $i$  à  $t = 0$ .

3.3. En justifiant la réponse, indiquer parmi les quatre courbes ci-dessous celle qui peut représenter  $i$ .



3.4. Calculer la valeur de  $i$  pour  $t = 0,50$  s.

3.5. Déterminer la valeur de  $u_C$  à la même date.

3.6. Le condensateur est-il déchargé ? Justifier la réponse.

## 4. Energie emmagasinée dans le condensateur

4.1. Rappeler l'expression de l'énergie emmagasinée dans le condensateur du montage étudié en fonction de sa capacité et de la tension  $u_C$  à ses bornes, puis en fonction de sa capacité et de la charge  $q_A$  de son armature  $A$ .

4.2. On remplace ce condensateur par un autre condensateur de capacité  $C'$  supérieure à  $C$ . Ce condensateur est chargé sous la même tension  $U_0$ . L'énergie emmagasinée dans ce condensateur est-elle supérieure à la précédente ?

### III. Un conservateur alimentaire **Non-Spécialistes seulement** (5 points)

L'acide benzoïque est un conservateur utilisé dans de nombreux cosmétiques et produits pharmaceutiques. Il est naturellement présent dans le propolis (sous-produit du miel) et dans les canneberges (arbustes à baies rouges comestibles). Il est aussi souvent utilisé comme conservateur (E 210) dans certains aliments tels que les jus de fruits.

L'acide benzoïque et ses sels (benzoate de sodium ou de potassium) sont efficaces contre les levures et à un moindre degré, contre les moisissures. Ils sont peu actifs contre les bactéries mais agissent tout de même sur les bactéries lactiques.

- La solubilité d'une espèce chimique représente, à une température donnée, la quantité de matière maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre par litre de solution. Il s'agit ici d'étudier l'évolution de la solubilité de l'acide benzoïque  $C_6H_5CO_2H(s)$  dans l'eau en fonction de la température.
- La solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau augmente quand la température augmente. Cette propriété est utilisée dans un procédé de purification des produits : la recristallisation.
- **Données** : Masse molaire moléculaire de l'acide benzoïque  $M = 122 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  
Conversion de degré Celsius en kelvin :  $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$

#### 1. Composition d'une solution saturée d'acide benzoïque

- L'acide benzoïque se présente à l'état pur sous la forme de cristaux blancs.
- La dissolution de l'acide benzoïque dans l'eau se traduit par l'équation suivante :  
$$C_6H_5CO_2H(s) \xrightarrow{\text{eau}} C_6H_5CO_2H(aq)$$
- Une solution saturée est obtenue lorsque l'acide benzoïque solide reste présent dans la solution.
- A  $24^{\circ}C$ , on peut dissoudre au maximum 3,26 g d'acide benzoïque par litre de solution.
- 1.1. L'acide benzoïque appartient au couple acido-basique  $C_6H_5CO_2H(aq)/C_6H_5CO_2^-(aq)$ . Écrire l'équation de la réaction entre l'acide benzoïque et l'eau.
- 1.2. Déterminer la concentration molaire apportée  $c$  dans un litre de solution saturée d'acide benzoïque à  $24^{\circ}C$ . En déduire en utilisant la définition donnée dans le texte, la valeur de la solubilité  $s$  de l'acide benzoïque à  $24^{\circ}C$  exprimée en  $\text{mol.L}^{-1}$ .
- 1.3. Déterminer l'avancement maximal de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau dans un volume de 20,0 mL de solution saturée. On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.
- 1.4. Le pH de cette solution vaut 2,9. Déterminer l'avancement final puis le taux d'avancement final de la réaction. La transformation correspondante est-elle totale ?
- 1.5. Choisir, en justifiant, la conclusion adaptée parmi les deux suivantes :  
(a) dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en ion benzoate est sensiblement égale à la concentration en acide benzoïque.  
(b) dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en acide benzoïque dans la solution à l'équilibre est sensiblement égale à la concentration apportée en acide benzoïque.

#### 2. Titrage des solutions saturées d'acide benzoïque

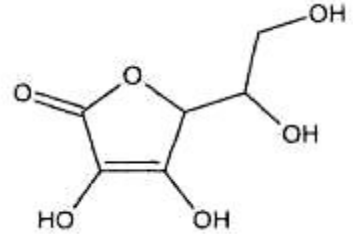
- Plusieurs solutions saturées d'acide benzoïque sont préparées selon le protocole suivant :
  - A une masse de 0,55 g d'acide benzoïque placée dans un erlenmeyer, ajouter 100 mL d'eau distillée.
  - Chauffer au bain-marie afin de dissoudre l'acide benzoïque.
  - Refroidir sous courant d'eau froide jusqu'à une température supérieure de  $5^{\circ}C$  à la température  $\theta$  souhaitée.
  - Verser le contenu de l'erlenmeyer dans un bécher thermostaté à la température  $\theta$ . Attendre que la température se stabilise.
  - Prélever un volume  $V_p = 20,0 \text{ mL}$  de solution surnageante. Placer cette solution dans un bécher thermostaté.
- Différentes solutions saturées d'acide benzoïque sont ainsi obtenues à différentes températures  $\theta$  allant de  $24^{\circ}C$  à  $50^{\circ}C$ . Chacune des solutions est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium ( $Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$ ) de concentration  $c_B = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ; le volume titré est  $V_p = 20,0 \text{ mL}$ .
- On s'intéresse ici au titrage de la solution obtenue à  $24^{\circ}C$ . La courbe obtenue lors de ce titrage donnant l'évolution du pH en fonction du volume  $V_b$  d'hydroxyde de sodium versé est représentée sur la figure **page 10**.
- 2.1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors du titrage de l'acide benzoïque.
- 2.2. Définir l'équivalence du titrage.
- 2.3. Déterminer par une méthode graphique que l'on fera apparaître sur la figure **page 10**, le volume  $V_{BE}$  de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.
- 2.4. Calculer la concentration molaire  $c$  d'acide benzoïque dissous dans la solution. En déduire la valeur de la solubilité de l'acide benzoïque à  $24^{\circ}C$ .

2.5. En déduire la masse maximale d'acide benzoïque que l'on peut dissoudre dans 100 mL de solution à 24°C.

Comparer cette masse à celle introduite initialement et expliquer alors l'expression « solution saturée » employée.

#### IV. Dosages d'une solution d'acide ascorbique

- L'acide ascorbique ou vitamine C intervient dans diverses réactions d'oxydoréduction cellulaires. Elle favorise le développement des os, des tendons et des dents.
- Présente dans de très nombreux aliments, en particulier dans les produits frais, légumes verts et fruits, elle est synthétisée par presque tous les animaux sauf l'homme, certains singes et certains oiseaux.
- De très nombreux oxydants peuvent oxyder l'acide ascorbique, c'est la raison pour laquelle l'acide ascorbique est utilisé comme antioxygène : en réagissant avec le dioxygène, il empêche celui-ci d'oxyder les constituants des aliments. C'est un additif alimentaire indiqué par le code E300.
- L'acide ascorbique, ou vitamine C, de formule brute  $C_6H_8O_6$ , a pour formule topologique :
- On désire déterminer la teneur en acide ascorbique d'une solution. Pour cela, on envisage deux méthodes de dosage reposant, pour l'une, sur le caractère acide de la molécule et, pour l'autre, sur son caractère réducteur.



##### • Données:

- Masses molaires atomiques :  $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- Couples oxydants-réducteurs :  $I_2(aq) / I^-(aq)$  ;  $C_6H_6O_6(aq) / C_6H_8O_6(aq)$  ;  $S_4O_6^{2-}(aq) / S_2O_3^{2-}(aq)$
- Couple acide-base :  $C_6H_8O_6(aq) / C_6H_7O_6^-(aq)$

#### 1. Dosage acido-basique de la solution d'acide ascorbique

- Mode opératoire :
  - On réalise un dosage pH-métrique de 10,0 mL de la solution d'acide ascorbique  $C_6H_8O_6(aq)$  par une solution d'hydroxyde de sodium ( $Na^+(aq) + HO^-(aq)$ ) de concentration molaire  $C_B = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ .

1.1. Ecrire l'équation de la réaction de dosage.

1.2. Définir l'équivalence du dosage.

1.3. A l'aide de la courbe page 11, déterminer le volume  $V_E$  versé à l'équivalence en explicitant la démarche utilisée.

1.4. Écrire la relation entre les quantités de matière des réactifs à l'équivalence et en déduire la valeur de la concentration molaire de la solution titrée.

#### 2. Dosage par oxydoréduction de la solution d'acide ascorbique

- Mode opératoire :
  - Première étape: oxydation de l'acide ascorbique.
    - L'acide ascorbique est oxydé par une solution de diiode  $I_2(aq)$  en excès: on verse dans un erlenmeyer un volume  $V_1 = 10,0 \text{ mL}$  de la solution d'acide ascorbique auquel on ajoute un volume  $V_2 = 20,0 \text{ mL}$  d'une solution de diiode de concentration  $C_2 = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

➤ Deuxième étape: dosage du diiode en excès.

- Le diiode en excès est alors dosé par une solution de thiosulfate de sodium ( $2 Na^+(aq) + S_2O_3^{2-}(aq)$ ), de concentration  $C_3 = 2,4 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ , en présence d'empois d'amidon ou de thiodène.
- Le volume versé à l'équivalence est  $V_E = 12,9 \text{ mL}$ .

2.1. Préciser la verrerie à utiliser pour prélever les volumes des réactifs de la première étape.

2.2. Exprimer la quantité de matière initiale de diiode introduite  $n(I_2)_{\text{initial}}$  dans la première étape.

2.3. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction de cette première étape.

2.4. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction de la deuxième étape.

2.5. En déduire la quantité de matière de diiode  $n(I_2)_{\text{excès}}$  qui réagit avec la solution de thiosulfate de sodium lors de la deuxième étape. On pourra éventuellement utiliser un tableau d'avancement.

2.6. A partir des réponses aux questions précédentes, établir la relation donnant la quantité de matière d'acide ascorbique dosée:  $n_A = C_2 \cdot V_2 - \frac{C_3 \cdot V_E}{2}$

2.7. En déduire la concentration molaire de la solution d'acide ascorbique.

#### 3. Conclusion

3.1. Comparer les résultats obtenus par les deux méthodes de dosage.

3.2. Calculer la concentration massique en acide ascorbique de la solution titrée.

## Annexe Déchets radioactifs et réaction de l'ammoniac avec l'eau

Tableau d'avancement exprimé en moles pour un volume  $V'_1 = 1,0 \text{ L}$ .

<u>Etat</u>	<u>Avancement</u>	$\text{NH}_3$	+	$\text{H}_2\text{O}$	=	$\text{HO}^-$	+	$\text{NH}_4^+$
initial	$x = 0$	$n_1 =$						
intermédiaire	$x$							
final	$x_f =$							
maximal	$x_{\text{max}} =$							

## Correction

### I- Déchets radioactifs et réaction de l'ammoniac avec l'eau

#### 1. Étude de déchets radioactifs

##### 1.1. Un déchet radioactif à vie courte dans le lait de vache

1.1.1. Une particule  $\alpha$  est un **noyau d'hélium** :  ${}^4_2\text{He}$ .

1.1.2. Une particule  $\beta^-$  est un **électron**. Une particule  $\beta^+$  est un **positon**.

1.1.3. Il se produit **0,22 désintégration par seconde** dans un litre de lait.

1.1.4. Le temps de demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs, initialement présents, se sont désintégrés.

1.1.5. Loi de décroissance radioactive :  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  où  $N(t)$  est le nombre de noyaux à la date  $t$ ,  $N_0$  le nombre de noyaux à l'instant de date  $t_0 = 0$  s,  $\lambda$  la constante radioactive en  $s^{-1}$ .

$$1.1.6. N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Rightarrow \ln \frac{1}{2} = -\lambda \cdot t_{1/2} \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda \cdot t_{1/2} \quad \text{finalement } \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

1.1.7.  $t_{1/2} = 30$  ans environ.  $\lambda = \frac{\ln 2}{30} = 2,3 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1}$ . On convertit  $t_{1/2}$  en s.  $t_{1/2} = 30 \times 365,25 \times 24 \times 60 \times 60$  alors

$$\lambda = \frac{\ln 2}{30 \times 365,25 \times 24 \times 60 \times 60} \Rightarrow \lambda = 7,3 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

1.1.8. L'activité est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs :  $A(t) = \lambda \cdot N(t) \Rightarrow N(t) = \frac{A(t)}{\lambda}$

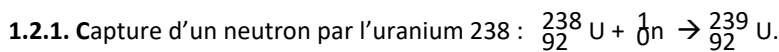
$$N(t) = \frac{0,22}{7,3 \times 10^{-10}} = 3,0 \times 10^8 \text{ noyaux de césium 137 dans un litre de lait.}$$

$$1.1.9. n = \frac{N}{N_A} \text{ quantité de matière de noyaux. } c = \frac{n}{V} \text{ soit } c = \frac{N}{N_A \cdot V} \text{ soit } c = \frac{3,0 \times 10^8}{6,02 \times 10^{23} \times 1,00} = 5,0 \times 10^{-16} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$1.1.10. A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \text{ donc } \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda \cdot t} \cdot \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right) = \lambda \cdot t \Rightarrow t = \frac{\ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right)}{\lambda} \quad A(t) = \frac{A_0}{100}$$

$$\text{donc } \frac{A_0}{A(t)} = 100 \Rightarrow t = \frac{\ln(100)}{7,3 \times 10^{-10}} = 6,3 \times 10^9 \text{ s ou } t = \frac{\ln(100)}{2,3 \times 10^{-2}} = 2,0 \times 10^2 \text{ ans}$$

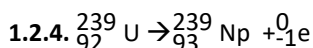
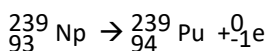
##### 1.2. Les déchets radioactifs à vie longue



Lois de conservation : conservation du nombre de charges, et conservation du nombre de nucléons.

1.2.2. Le plutonium 239 ( $Z = 94$ ) et l'uranium 239 ( $Z = 92$ ) ne sont pas des isotopes car ils possèdent des numéros atomiques différents.

1.2.3. « En libérant un électron, l'uranium 239 se transforme en neptunium » :  ${}^{239}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{239}_{93}\text{Np} + {}^0_{-1}\text{e}$  « libère à son tour un électron et donne ainsi naissance au plutonium 239 »



Variation d'énergie au cours de cette transformation  $\Delta E = [m({}^{239}_{93}\text{Np}) + m({}^0_{-1}\text{e}) - m({}^{239}_{92}\text{U})] \cdot c^2$ .

$$\Delta E = (239,05294 + 0,00055 - 239,05429) \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = -0,00080 \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2 \quad \Delta E = -1,2 \times 10^{-13} \text{ J. } \Delta E(\text{eV}) = \frac{\Delta E(\text{J})}{1\text{eV}} \Rightarrow \Delta E = -7,5 \times 10^5 \text{ eV} = -0,75 \text{ MeV}$$

La réaction d'un noyau d'uranium 239 libère vers le milieu extérieur  $E = 7,5 \times 10^5 \text{ eV}$  (ou  $1,2 \times 10^{-13} \text{ J}$ ).

1.2.5. Soit  $N_U$  le nombre de noyaux d'uranium 239 présents dans  $m = 1,0 \text{ g}$  d'uranium :  $N_U = \frac{m}{m_{92}^{239} \text{ U}}$ .

L'énergie libérée par  $N_U$  noyaux est  $E_{1g} = N_U \cdot E$  d'où  $E_{1g} = \frac{m}{m_{92}^{239} \text{ U}} \cdot E$

$$E_{1g} = \frac{1,0 \times 10^{-3}}{239,05429 \times 1,66054 \times 10^{-27}} \times 1,2 \times 10^{-13} = 3,0 \times 10^8 \text{ J.} \quad (\text{attention : convertir } 1,0 \text{ g en kg})$$

## 2. Évolution de la réaction de l'ammoniac avec l'eau.

2.1 Solution mère:  $S_0$   $C_0 = 10,9 \text{ mol.L}^{-1}$   $V_0$  à prélever

Solution fille:  $S_1$   $C_1 = \frac{C_0}{10}$   $V_1 = 50,0 \text{ mL}$

Au cours d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve soit  $n_0 = n_1$ , donc  $C_0 \cdot V_0 = C_1 \cdot V_1$  alors  $C_0 \cdot V_0 = \frac{C_0}{10} \cdot V_1$

$$V_0 = \frac{V_1}{10} \quad V_0 = \frac{50,0}{10} = 5,0 \text{ mL à prélever.}$$

2.2. Mode opératoire:

On place de la solution  $S_0$  dans un becher. A l'aide d'une pipette jaugée, on prélève  $V_0 = 5,0 \text{ mL}$  de  $S_0$ .

On verse ce prélèvement dans une fiole jaugée de volume  $V_1 = 50,0 \text{ mL}$ . On ajoute de l'eau distillée jusqu'au tiers de la fiole. On bouche, on agite. On poursuit l'ajout d'eau jusqu'au trait de jauge. On agite à nouveau. La solution fille  $S_1$  est prête.

2.3.  $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}] \cdot [\text{HO}^-_{(aq)}]$  et  $[\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}] = 10^{-\text{pH}}$ .  $K_e = 10^{-\text{pH}} \times [\text{HO}^-_{(aq)}] \Rightarrow [\text{HO}^-_{(aq)}] = \frac{K_e}{10^{-\text{pH}}}$

$$[\text{HO}^-_{(aq)}]_{(S1)} = \frac{1,00 \times 10^{-14}}{10^{11,62}} = 4,17 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \text{ cette valeur non arrondie est stockée en mémoire}$$

soit  $[\text{HO}^-_{(aq)}]_{(S1)} = 4,2 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

### 2.4 Tableau d'avancement exprimé en moles pour un volume $V_1 = 1,0 \text{ L}$ .

V. État	Avancement	$\text{NH}_3_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} =$	$\text{HO}^-_{(aq)} +$	$\text{NH}_4^+_{(aq)}$
initial	0	$n_1 = C_1 \times V_1$ $n_1 = 1,09$	0	0
intermédiaire	x	$1,09 - x$	x	x
final	$x_f = 4,2 \times 10^{-3}$	$1,09 - x_f$	$x_f = [\text{HO}^-_{(aq)}]_{(S1)} \times V_1$ $x_f = 4,2 \times 10^{-3}$	$x_f = 4,2 \times 10^{-3}$
maximal	$x_{\text{max}} = 1,09$	$1,09 - x_{\text{max}} = 0$	$x_{\text{max}} = 1,09$	$x_{\text{max}} = 1,09$

2.5  $\tau_1 = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} \Rightarrow \tau_1 = \frac{4,2 \times 10^{-3}}{1,09} = 0,38 \%$  La transformation est très limitée.

2.6  $Q_{r,1} = \frac{[\text{HO}^-_{(aq)}]_f \cdot [\text{NH}_4^+_{(aq)}]_f}{[\text{NH}_3_{(aq)}]_f}$  remarque  $Q_{r,1} = \frac{[\text{HO}^-_{(aq)}]_{(S1)} \cdot [\text{NH}_4^+_{(aq)}]_{(S1)}}{[\text{NH}_3_{(aq)}]_{(S1)}}$  on remplace  $V_1$  par 1,0  $Q_{r,1} = \frac{x_f^2}{n_1 - x_f}$

$$Q_{r,1} = \frac{(4,2 \times 10^{-3})^2}{(1,09 - 4,2 \times 10^{-3})} = 1,6 \times 10^{-5} \approx Q_{r,\text{éq}} \text{ calcul effectué avec la valeur non arrondie de } x_f$$

Le quotient de réaction a atteint la valeur de  $Q_{r,\text{éq}}$  aux incertitudes de mesure près. Le système chimique est dans l'état d'équilibre.



## II. Décharge d'un condensateur

### 1. Établissement de l'équation différentielle lors de la décharge

1.1. D'après la loi d'additivité des tensions :  $u_C + u_R = 0$ .

1.2.  $q_A = C \cdot u_C$

1.3. L'intensité a été comptée positivement au cours de la charge du condensateur, lors de la décharge le courant change de sens, alors **i est négative**.  $i = \frac{dq_A}{dt}$

remarque :  $dq_A = q_A(t+dt) - q_A(t) < 0$  car la charge portée par l'armature A diminue lors de la décharge. On retrouve bien  $i < 0$ .

En utilisant le 1.2., il vient  $i = \frac{dC \cdot u_C}{dt}$ .

C étant constante on a  $i = C \frac{du_C}{dt}$

1.4. D'après 1.1.  $u_C + u_R = 0$

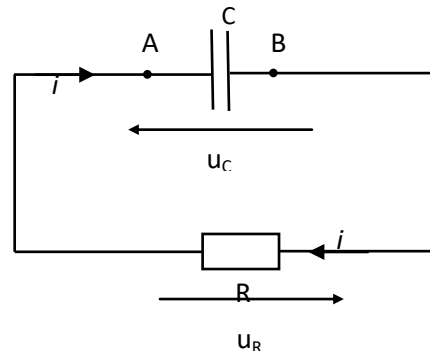
d'après la loi d'Ohm  $u_R = R \cdot i$

$$u_C + R \cdot i = 0$$

d'après 1.3.  $u_C + R \cdot C \frac{du_C}{dt} = 0$

$$\frac{1}{RC} u_C + \frac{du_C}{dt} = 0$$

Cette équation différentielle est bien de la forme  $\alpha u_C + \frac{du_C}{dt} = 0$  avec  $\alpha = \frac{1}{RC}$



### 2. Solution de l'équation différentielle

2.1.  $u_C = A e^{-\beta t}$  et  $\frac{1}{RC} u_C + \frac{du_C}{dt} = 0$

Exprimons tout d'abord  $\frac{du_C}{dt} = \frac{dA \cdot e^{-\beta t}}{dt} = \frac{A d e^{-\beta t}}{dt} = -A \cdot \beta \cdot e^{-\beta t}$

Remplaçons l'expression obtenue dans l'équation différentielle  $\frac{1}{RC} \cdot A \cdot e^{-\beta t} - A \cdot \beta \cdot e^{-\beta t} = 0$

$A \cdot e^{-\beta t} \left( \frac{1}{RC} - \beta \right) = 0$  ; Cette égalité est vérifiée quel que soit t, si  $A = 0$  mais l'énoncé précise que A est une constante  $> 0$  donc impossible ou

si  $\frac{1}{RC} - \beta = 0$  soit si  $\beta = \frac{1}{RC}$ .

2.2. A la date  $t = 0$ , on a  $u_C(0) = U_0 = 10 \text{ V}$ .  $u_C(0) = A \cdot e^{-\beta \cdot 0} = A$  donc  $A = U_0$ .  $A = 10 \text{ V}$ .

2.3. Lors de la décharge du condensateur, la tension  $u_C$  à ses bornes décroît. La courbe 1 convient.

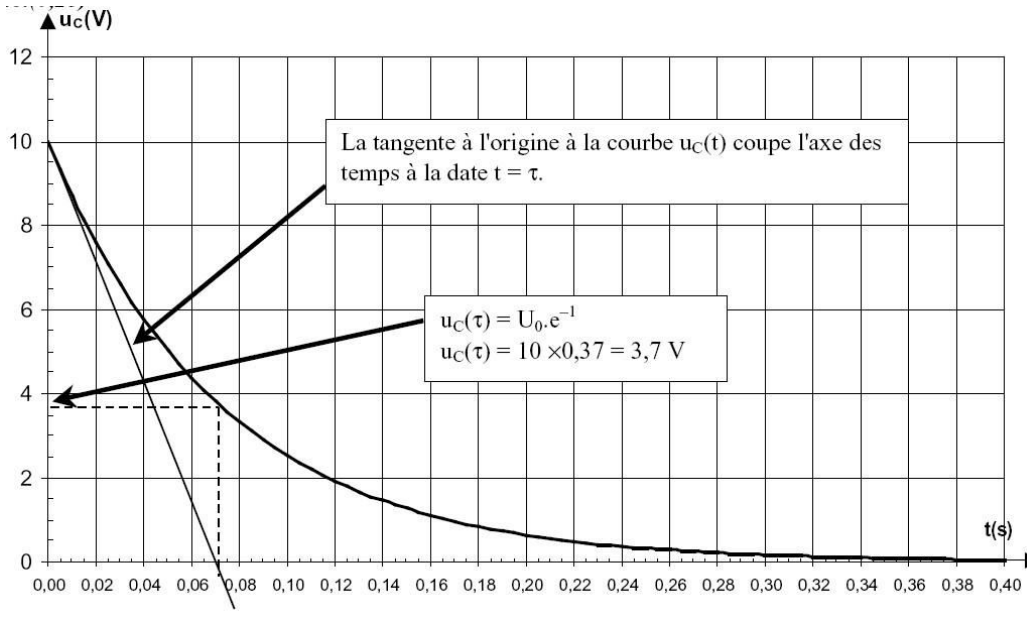
On peut aussi ajouter que seule la courbe 1 est en accord avec  $u_C(0) = U_0 = 10 \text{ V}$ .

2.4.  $\tau = R \cdot C$

2.5.  $\tau = R \cdot C \Rightarrow [\tau] = [R] \cdot [C]$ . D'après la loi d'Ohm  $u_R = R \cdot i$ , donc  $R = \frac{u_R}{i}$  soit  $[R] = \frac{[U]}{[I]}$  D'après le 1.3.  $i = C \frac{du_C}{dt}$ , donc  $C = i \cdot \frac{dt}{du_C}$

soit  $[C] = [I] \cdot \frac{[T]}{[U]}$   $[\tau] = \frac{[U]}{[I]} \cdot [I] \cdot \frac{[T]}{[U]}$   $[\tau] = [T]$   $\tau$  est homogène à un temps.

2.6. Les deux méthodes conduisent à  $\tau = 0,07$  s.



2.7.  $\tau = R.C$  donc  $C = \frac{\tau}{R}$   $C = \frac{0,07}{33} = 2 \times 10^{-3}$  F = 2 mF

### 3. Intensité du courant

3.1. On a établi précédemment dans le 1.3.  $i = C \cdot \frac{du_C}{dt}$  et dans le 2.1. et 2.2  $u_C = Ae^{-\beta t}$  avec  $A = U_0$  et  $\beta = \frac{1}{RC}$  soit  $u_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$  donc

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{U_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ finalement } i = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

3.2.  $i(0) = I_0 = -\frac{U_0}{R}$   $i(0) = -\frac{10}{33} = -0,30$  A

3.3. Seule la **courbe 3** est en accord avec  $I_0 < 0$ .

3.4. A la date  $t = 0,50$  s  $i = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$   $i(0,50) = -\frac{10}{33} e^{-\frac{0,50}{0,07}} = -2 \times 10^{-4}$  A = -0,2 mA

3.5.  $u_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$   $u_C(0,50) = 10 e^{-\frac{0,50}{0,07}} = 8 \times 10^{-3}$  V = 8 mV

3.6. La durée écoulée est supérieure à cinq fois la valeur de la constante de temps  $\tau$ , on trouve une valeur de  $u_C$  très proche de zéro. On peut considérer que **le condensateur est déchargé**.

### 4. Energie emmagasinée dans le condensateur

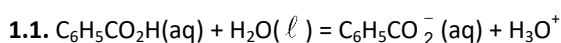
4.1.  $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_C^2$   $q_A = C \cdot u_C$  soit  $u_C = \frac{q_A}{C}$   $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \left(\frac{q_A}{C}\right)^2 = \frac{1}{2} \frac{q_A^2}{C}$

4.2. L'énergie emmagasinée à la date  $t = 0$  s dans le condensateur C a pour expression :  $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2$  Pour le condensateur C' (avec  $C' > C$ ),

on a  $E' = \frac{1}{2} \cdot C' \cdot U_0^2$ .  $U_0$  étant constante, alors  $E' > E$ .

## III. Un conservateur alimentaire

### 1. Composition d'une solution saturée d'acide benzoïque



1.2. À 24°C, on peut dissoudre au maximum  $m = 3,26$  g d'acide benzoïque par litre de solution.

$c = \frac{n}{V}$  or  $n = \frac{m}{M}$  donc  $c = \frac{m}{M.V}$   $c = \frac{3,26}{122} = 2,67 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  concentration molaire apportée  $c$  dans un litre de solution saturée d'acide benzoïque à 24°C. La solubilité est égale à cette concentration, donc  $s = 2,67 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

1.3. Déterminons la quantité de matière  $n_0$  d'acide benzoïque présente dans  $V_0 = 20,0$  mL de solution saturée.  $s = \frac{n_0}{V_0}$  donc  $n_0 = s.V_0$  Si la transformation entre l'acide benzoïque et l'eau est totale, alors l'acide est totalement consommé donc  $n_0 - x_{\max} = 0$ .

$$x_{\max} = s.V_0 \Rightarrow x_{\max} = 2,67 \times 10^{-2} \times 20,0 \times 10^{-3} = 5,34 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

1.4.  $[H_3O^+]_{\text{éq}} = 10^{-\text{pH}} = x_{\text{éq}}/V_0$  donc  $x_{\text{éq}} = 10^{-\text{pH}}.V_0$

$$x_{\text{éq}} = 10^{-2,9} \times 20,0 \times 10^{-3} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

équation chimique		$C_6H_5CO_2H(aq) + H_2O(\ell) = C_6H_5CO_2^-(aq) + H_3O^+$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$	$n_0 = s.V_0$ $n_0 = 5,34 \times 10^{-4}$	excès	0	0
En cours de transformation	$x$	$n_0 - x$	excès	$x$	$x$
État final si transfo. totale	$x_{\max}$	$n_0 - x_{\max} = 0$	excès	$x_{\max}$	$x_{\max}$
État final	$x_{\text{éq}}$	$n_0 - x_{\text{éq}}$	excès	$x_{\text{éq}} = 10^{-\text{pH}}.V_0$ $= 2,5 \times 10^{-5}$	$x_{\text{éq}} = 10^{-\text{pH}}.V_0$ $= 2,5 \times 10^{-5}$

$$\tau = \frac{x_{\text{éq}}}{x_{\max}} = \frac{10^{-\text{pH}}.V_0}{s.V_0} = \frac{10^{-\text{pH}}}{s} \quad \tau = \frac{10^{-2,9}}{2,67 \times 10^{-2}} = 4,7 \times 10^{-2} = 4,7 \%$$

$\tau < 100 \%$  donc la transformation n'est pas totale, elle est **très limitée**.

1.5. (b) dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en acide benzoïque dans la solution à l'équilibre est sensiblement égale à la concentration apportée en acide benzoïque.

D'après la conservation de la matière  $c = [C_6H_5CO_2H(aq)]_{\text{initiale}} = [C_6H_5CO_2H(aq)]_{\text{éq}} + [C_6H_5CO_2^-(aq)]_{\text{éq}}$

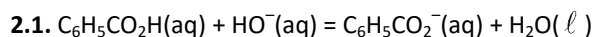
$$\text{On a } c = s = \frac{n_0}{V_0} = \frac{x_{\max}}{V_0} \text{ et } [C_6H_5CO_2^-(aq)]_{\text{éq}} = \frac{x_{\text{éq}}}{V_0} \text{ ainsi } \tau = \frac{[C_6H_5CO_2^-(aq)]_{\text{éq}}.V_0}{c.V_0} = \frac{[C_6H_5CO_2^-(aq)]_{\text{éq}}}{c} \text{ Donc } [C_6H_5CO_2^-(aq)]_{\text{éq}} = \tau.c$$

Reprenons la conservation de la matière :  $c = [C_6H_5CO_2H(aq)]_{\text{éq}} + \tau.c$

$$[C_6H_5CO_2H(aq)]_{\text{éq}} = c - \tau.c = c(1 - \tau)$$

$[C_6H_5CO_2H(aq)]_{\text{éq}} = 95,3\% \times c$  La proposition (b) est juste, dans l'état final 95,3 % des molécules d'acide introduites demeurent sous cette forme.

## 2. Titration des solutions saturées d'acide benzoïque



2.2. À l'équivalence les deux réactifs ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques .

2.3. Méthode des tangentes :

$$V_{bE} = 10,8 \text{ mL}$$

2.4. à l'équivalence  $n_{\text{acide dissous}} = n_{\text{HO}^- \text{ versée}} \quad C \cdot V_p = C_b \cdot V_{bE} \quad C = \frac{C_b \cdot V_{bE}}{V_p}$

$$C = \frac{5,0 \times 10^{-2} \times 10,8}{20,0} = 2,7 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

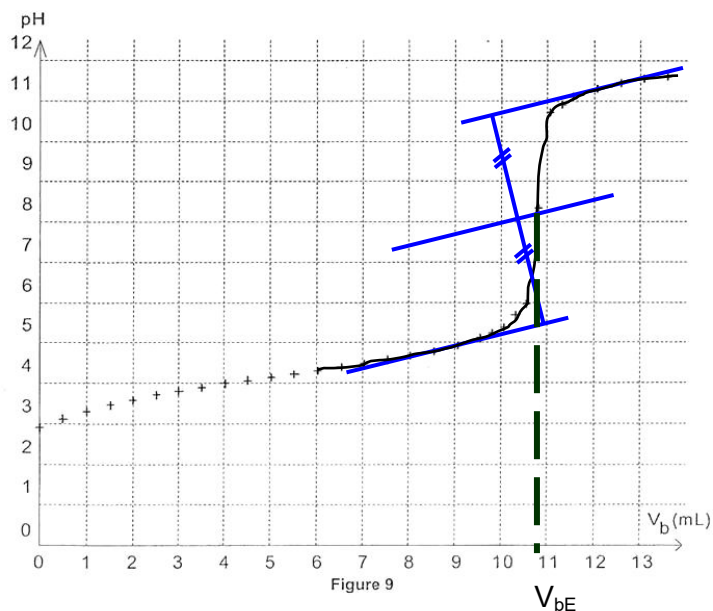
Donc la solubilité vaut  $s = 2,7 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  .

2.5.  $s = \frac{n}{V}$  et  $n = \frac{m}{M}$  donc  $s = \frac{m}{MV} \Rightarrow m = s \cdot M \cdot V$

$$m = 2,7 \times 10^{-2} \times 122 \times 0,100$$

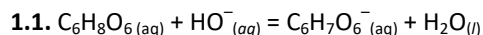
$m = 0,33 \text{ g}$  d'acide benzoïque que l'on peut dissoudre dans 100 mL de solution à 24°C.

Initialement une masse de 0,55 g d'acide benzoïque avait été introduite dans 100 mL d'eau distillée. Seule une masse de 0,33 g a été dissoute, il reste  $0,55 - 0,33 = 0,22 \text{ g}$  d'acide benzoïque sous forme solide dans la solution. La solution est saturée.



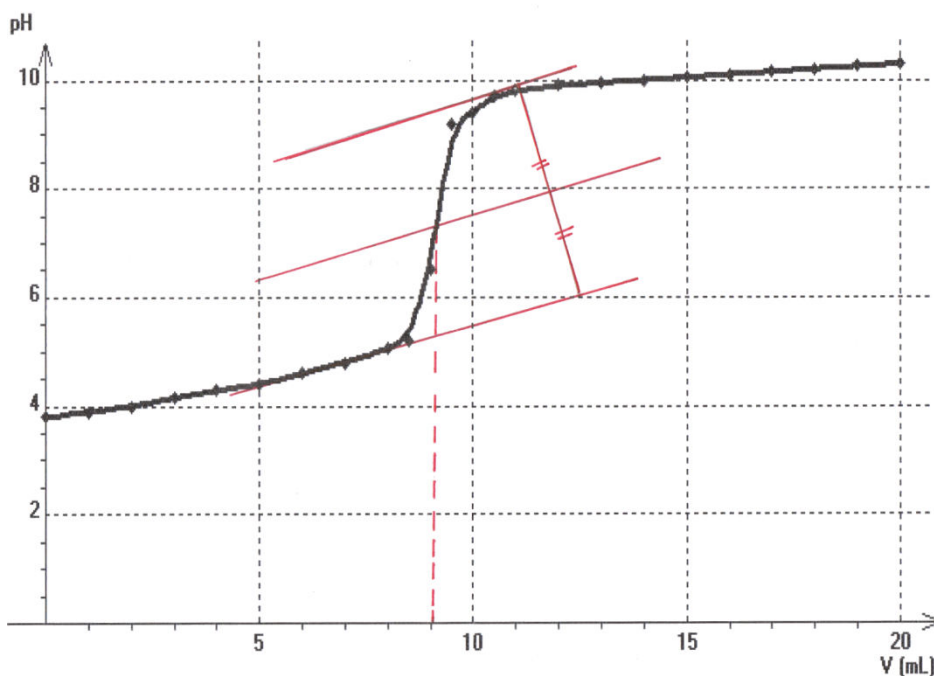
#### IV. Dosages d'une solution d'acide ascorbique

##### 1. Dosage acido-basique de la solution d'acide ascorbique



1.2. A l'équivalence, il y a changement de réactif limitant. Les réactifs ont alors été introduits dans les proportions stœchiométriques.

1.3. On détermine le volume équivalent par la méthode des tangentes :  $V_E = 9,0 \text{ mL}$



1.4. A l'équivalence,  $n_{\text{HO}^- \text{ versée}} = n_{\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 \text{ initiale}}$ . Soit  $C_b \cdot V_E = C_a \cdot V_a$  donc  $C_a = \frac{C_b \cdot V_E}{V_a}$

$$C_a = \frac{5,0 \times 10^{-4} \times 9,0}{10,0} = 4,5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1} \text{ concentration molaire en acide ascorbique de la solution titrée.}$$