

Radioactivité dans la famille de l'uranium

1.1. Cette désintégration est du type alpha. En effet, elle s'accompagne de l'émission d'un noyau d'hélium également appelé particule α .

1.2. Défaut de masse

$$\text{défaut de masse : } \Delta m = (Z.m_p + (A-Z).m_n) - m_x$$

défaut de masse du noyau de radium:

$$\Delta m(\text{Ra}) = (Z.m_p + (A-Z).m_n) - m_{\text{Ra}}$$

$$\Delta m(\text{Ra}) = (88 \times 1,007) + (226 - 88) \times 1,009 - 225,977$$

$$\Delta m(\text{Ra}) = 227,858 - 225,977$$

$$\Delta m(\text{Ra}) = 1,881 \text{ u}$$

1.3. $E = m.c^2$ E énergie de masse en joule, m masse de la particule en kg, c célérité de la lumière dans le vide

1.4. énergie de liaison E_l d'un noyau: Il s'agit de l'énergie à fournir à un noyau, pris au repos, pour le séparer en ses nucléons isolés et pris au repos.

$$E_l(\text{Rn}) = \Delta m.c^2$$

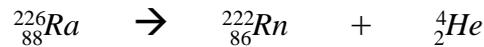
$$E_l(\text{Rn}) = 3,04 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$E_l(\text{Rn}) = 2,736 \times 10^{-10} \text{ J} \quad \text{soit } \mathbf{2,74 \times 10^{-10} \text{ J}}$$

$$\text{soit en Mev: } E_l(\text{Rn}) = \frac{2,736 \times 10^{-10}}{1,60 \times 10^{-13}} = \mathbf{1,71 \times 10^3 \text{ MeV}}$$

$$E_l/A = E_l(\text{Rn})/222 = \mathbf{7,70 \text{ MeV.nucléon}}$$

1.5. Bilan énergétique.



$$\Delta E = [(m_{\text{Rn}} + m_{\text{He}}) - m_{\text{Ra}}] .c^2$$

$$\Delta E = [(221,970 + 4,001) - 225,977] \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = \mathbf{-8,97 \times 10^{-13} \text{ J}}$$

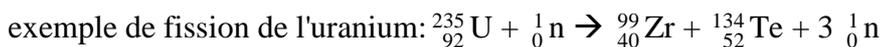
ΔE est négative car toute réaction nucléaire s'accompagne d'une perte de masse. Le noyau de radium cède de l'énergie au milieu extérieur.

2. Fission de l'uranium 235.

2.1. Deux noyaux sont isotopes s'ils possèdent le même numéro atomique Z mais des nombre de nucléons A différents. En fait seul le nombre de neutrons les distingue.

2.2.

fission: Lors d'une fission, un gros noyau instable, sous l'effet d'un neutron, se casse en deux noyaux plus petits. Cette réaction nucléaire provoquée s'accompagne d'un dégagement d'énergie.



Cette réaction s'accompagne d'un dégagement d'énergie:

$$E_{\text{libérée}} = 235 \times E_l/A(\text{U}) - [99 \times E_l/A(\text{Zr}) + 134 \times E_l/A(\text{Te})] < 0 \text{ car énergie cédée vers le milieu extérieur}$$

$$\text{Sur la courbe d'Aston on lit } E_l/A(\text{U}) = 7,2 \text{ MeV.nucléon}^{-1} \quad E_l/A(\text{Zr}) = 8,7 \text{ MeV.nucléon}^{-1}$$

$$E_l/A(\text{Te}) = 8,5 \text{ MeV.nucléon}^{-1}$$

3. Étude de la famille uranium 238 – plomb 206

3.1.1. Un noyau radioactif est un noyau instable qui peut se désintégrer spontanément en un autre noyau plus stable en émettant un rayonnement.



Dans une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons et conservation du nombre de charges (lois de Soddy)

3.2. Au cours de cette réaction il y a émission d'un électron, c'est donc une **radioactivité β^-** .

3.3. Au cours de ce processus, il y a 8 particules α émises et 6 électrons. Il y aura **8 désintégrations α et 6 désintégrations β^-** .

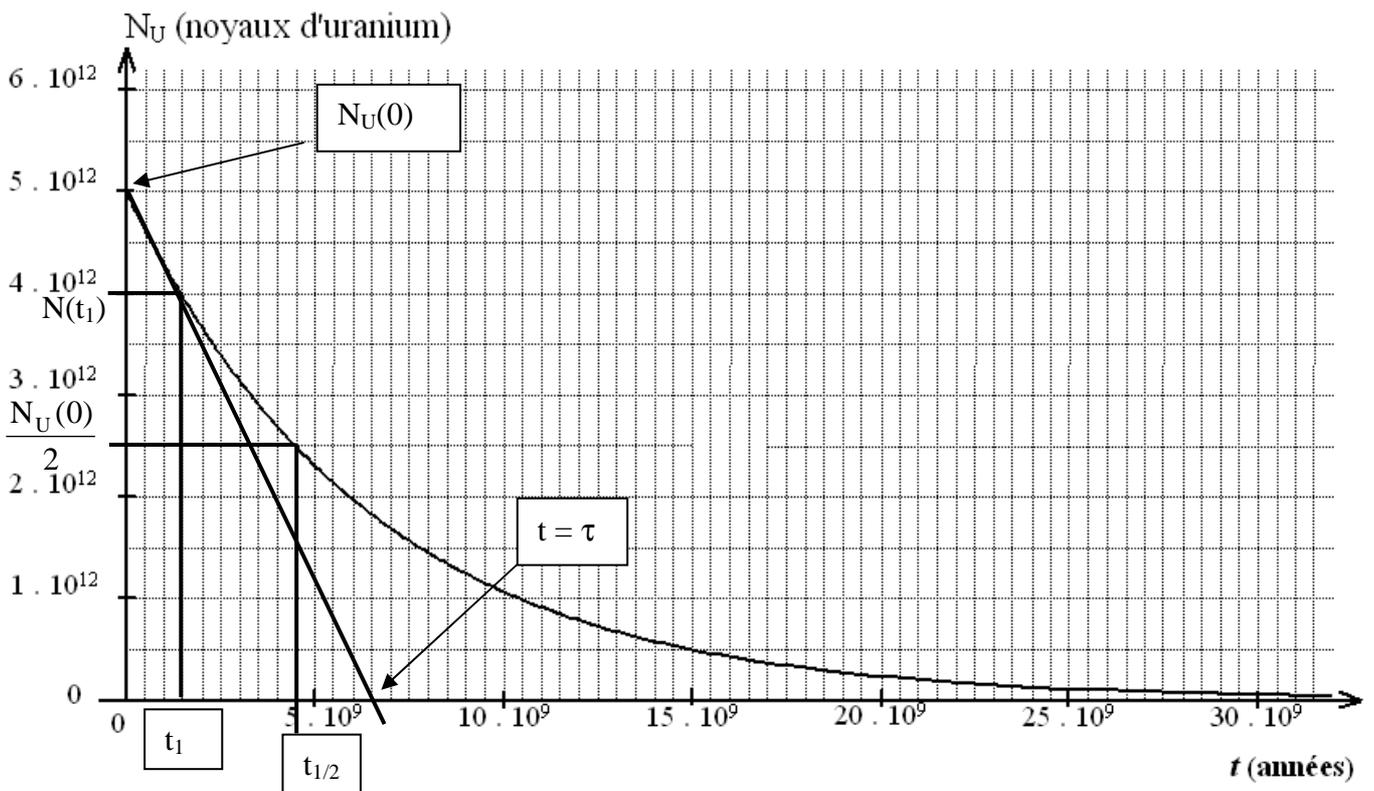
4. Géochronologie :

4.1.1. D'après le graphique, on lit : $N_U(0) = 5.10^{12}$ noyaux d'uranium.

4.1.2. Pour déterminer la valeur de la constante de temps, on trace la tangente à la courbe $N_U=f(t)$, à la date $t = 0$, celle-ci coupe l'axe des abscisses en $t = \tau$.

$\tau = 6,5.10^9$ ans méthode peu précise, ne pas donner le résultat avec trop de chiffres significatifs

Constante radioactive: $\lambda = \frac{1}{\tau}$ soit $\lambda = \frac{1}{6,5.10^9} = 1,5.10^{-10} \text{ an}^{-1}$



4.1.3. La loi de décroissance radioactive nous donne : $N_U(t) = N_U(0) \times e^{-\lambda \cdot t}$

À la date $t_1 = 1,5.10^9$ années, on a $N_U(t_1) = 5.10^{12} \times e^{-1,5.10^{-10} \times 1,5.10^9} = 4.10^{12}$ noyaux. On vérifie ce résultat graphiquement (voir courbe ci-dessus).

4.1.4. Le temps de demi-vie correspond à la durée nécessaire à la désintégration de la moitié de la population initiale en uranium 238. On a $N_U(t_{1/2}) = N_U(0)/2$.

Graphiquement, on lit que $N(t) = N_U(0)/2$ pour $t = t_{1/2} = 4,5.10^9$ ans.

4.2.1. Un noyau d'uranium, en se désintégrant, donne un noyau de plomb donc:

$$N_U(0) = N_U(t_{\text{Terre}}) + N_{\text{Pb}}(t_{\text{Terre}}).$$

$$N_U(t_{\text{Terre}}) = N_U(0) - N_{\text{Pb}}(t_{\text{Terre}})$$

$$N_U(t_{\text{Terre}}) = 5.10^{12} - 2,5.10^{12} = 2,5.10^{12} \text{ noyaux}$$

4.2.2. Méthode 1: On constate que $N_U(t_{\text{Terre}}) = N_U(0)/2$. Donc $t_{\text{Terre}} = t_{1/2}$.

$t_{\text{Terre}} = 4,5.10^9$ ans

Méthode 2: plus longue mais plus instructive pour réviser

$$N_U(t_{Terre}) = N_U(0) \times e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\frac{N_U(t_{Terre})}{N_U(0)} = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$-\lambda \times t_{Terre} = \ln \left(\frac{N_U(t_{Terre})}{N_U(0)} \right)$$

$$t_{Terre} = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{N_U(t_{Terre})}{N_U(0)} \right)$$

$$t_{Terre} = -\tau \cdot \ln \left(\frac{N_U(t_{Terre})}{N_U(0)} \right)$$

$$t_{Terre} = -6,5 \cdot 10^9 \ln \left(\frac{1}{2} \right) = \mathbf{4,5 \cdot 10^9 \text{ ans}}$$

$$E_{\text{libérée}} = 235 \times 7,2 - [99 \times 8,7 + 134 \times 8,5]$$

$$E_{\text{libérée}} = -3,1 \times 10^2 \text{ MeV}$$

5. Désintégration du noyau Zr.

5.1. Un noyau instable se désintègre spontanément, il se forme un nouveau noyau fils et il y a émission d'un électron.



Pour écrire cette équation, on a appliqué les lois de conservation du nombre de charges et du nombre de nucléons.

Exercice 2 :

1. LA TRANSFORMATION CHIMIQUE ÉTUDIÉE

1.1. Un acide est une espèce chimique capable de céder un proton H^+ .

1.2. Couple acide éthanöique / ion éthanöate: $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} / \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}$
 Couple ion oxonium / eau: $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} / \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$

$$1.3. K = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}]_f \cdot [\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]_f}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f}$$

2. ÉTUDE pH-MÉTRIQUE

2.1. quantité de matière initiale d'acide éthanöique : $n_1 = c_1 \times V_1$

$$n_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \times 0,100$$

$$n_1 = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

2.2.	Avancement	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$			
État initial	$x = 0$	n_1	en excès	0	0
État final théorique	$x = x_{\text{max}}$	$n_1 - x_{\text{max}}$	en excès	x_{max}	x_{max}
État final expérimental ou état d'équilibre	$x = x_f$	$n_1 - x_f$	en excès	x_f	x_f

Si la transformation est totale, l'acide éthanöique est totalement consommé, soit $n_1 - x_{\text{max}} = 0$

$$x_{\text{max}} = n_1 \quad \text{soit } x_{\text{max}} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

2.3. $[\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]_f = 10^{-\text{pH}}$ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \text{ or d'après l'énoncé } \log(2,0 \cdot 10^{-4}) = -3,7$
 $[\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]_f = 10^{-3,70} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]_f = \frac{x_f}{V_1} \quad \text{soit } x_f = [\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]_f \times V_1$$

$$x_f = 2,0 \cdot 10^{-4} \times 0,100 = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$2.4. \tau_1 = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} \quad \tau_1 = \frac{2,0 \cdot 10^{-5}}{2,7 \cdot 10^{-4}} = 0,74 \times 10^{-5} \times 10^4 = 0,74 \cdot 10^{-1}$$

$\tau_1 = 7,4 \cdot 10^{-2}$ La transformation est limitée car $\tau_1 < 1$.

2.5.1. D'après l'équation chimique $[\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}]_f = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}]_f = \frac{x_f}{V_1}$

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}]_f = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

2.5.2. $c_1 = [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_{\text{ini}} = [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f + [\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}]_f$
 $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f = c_1 - [\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})}]_f$

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f = 2,7 \cdot 10^{-3} - 2,0 \cdot 10^{-4} = 27,10^{-4} - 2,0 \cdot 10^{-4}$$

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f = 25 \cdot 10^{-4} = \mathbf{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}}$$

$$\mathbf{2.6.} \quad K_1 = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_f}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f}$$

$$K_1 = \frac{2,0 \cdot 10^{-4} \times 2,0 \cdot 10^{-4}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = \frac{4,0}{2,5} \times 10^{-8} \times 10^3$$

$$\mathbf{K_1 = 1,6 \cdot 10^{-5}}$$

3. ÉTUDE CONDUCTIMÉTRIQUE

3.1. Présence d'ions éthanoate CH_3CO_2^- et d'ions oxonium H_3O^+ .

D'après l'équation chimique $[\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{aq})} = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})}$

$$\mathbf{3.2.} \quad \sigma = \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} + \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{aq})}$$

$$\mathbf{3.3} \quad \sigma = (\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} + \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}) \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{aq})}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{aq})} = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} = \frac{\sigma}{\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} + \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{aq})} = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} = \frac{5,00 \cdot 10^{-2}}{4,1 \cdot 10^{-3} + 35,9 \cdot 10^{-3}} = \frac{5,00 \cdot 10^{-2}}{40 \cdot 10^{-3}} = \frac{5}{4} \times \frac{10^{-2}}{10 \times 10^{-3}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{aq})} = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} = \mathbf{1,25 \text{ mol.m}^{-3} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}}$$

$$\mathbf{3.4.1.} \quad c_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \text{ et } [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\frac{c_2}{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f} = \frac{100}{1,25} = 80$$

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} = \frac{c_2}{80} < \frac{c_2}{50} \text{ l'approximation 1 est justifiée.}$$

3.4.2. Si $c_2 \approx [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f$ cela signifie que l'acide s'est très peu dissocié dans l'eau.

La transformation peut être considérée comme étant **très limitée**.

On a $c_2 = [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_{\text{ini}} = [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f + [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})} = c_2$

et $c_2 \approx [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f$ donc $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{(\text{aq})}$ est négligeable face à $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f$.

$$\mathbf{3.4.3.} \quad K_2 = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_f}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}]_f} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_f^2}{c_2}$$

$$K_2 = \frac{(1,25 \cdot 10^{-3})^2}{0,10} = \frac{(1,25)^2 \cdot 10^{-6}}{0,10} = 1,56 \cdot 10^{-5}$$

$$\mathbf{3.4.4.} \quad \tau_2 = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f}{c_2}$$

$$\tau_2 = \frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{0,10} = 1,25 \cdot 10^{-2}$$

4. CONCLUSION : COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS

4.1. La constante d'équilibre K ne dépend pas de la concentration initiale en acide éthanoïque, puisque avec deux concentrations différentes on obtient la même valeur de K.

4.2. Oui, le taux d'avancement final d'une transformation chimique limitée dépend de l'état initial du système. En effet avec deux concentrations initiales différentes, on obtient deux taux d'avancement différents.

4.3. Affirmation 1 : Plus l'acide est dissocié et plus le taux d'avancement final τ est grand.

Affirmation **juste** : $\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$, plus l'acide est dissocié et plus x_f est grand alors τ est plus grand. (x_{\max} étant constant).

Affirmation 2 : Plus la solution d'acide éthanóique est diluée, moins l'acide est dissocié.

Affirmation **fausse** : $c_1 < c_2$ donc la solution 1 est davantage diluée.

On a obtenu $\tau_1 > \tau_2$, dans la solution 1 l'acide s'est davantage dissocié.

Exercice 3 :

1. Étude spectrophotométrique d'une réaction chimique.

1.1. Les transformations mettant en jeu une **espèce chimique colorée** peuvent être suivies par **spectrophotométrie**. C'est le cas de la transformation étudiée :



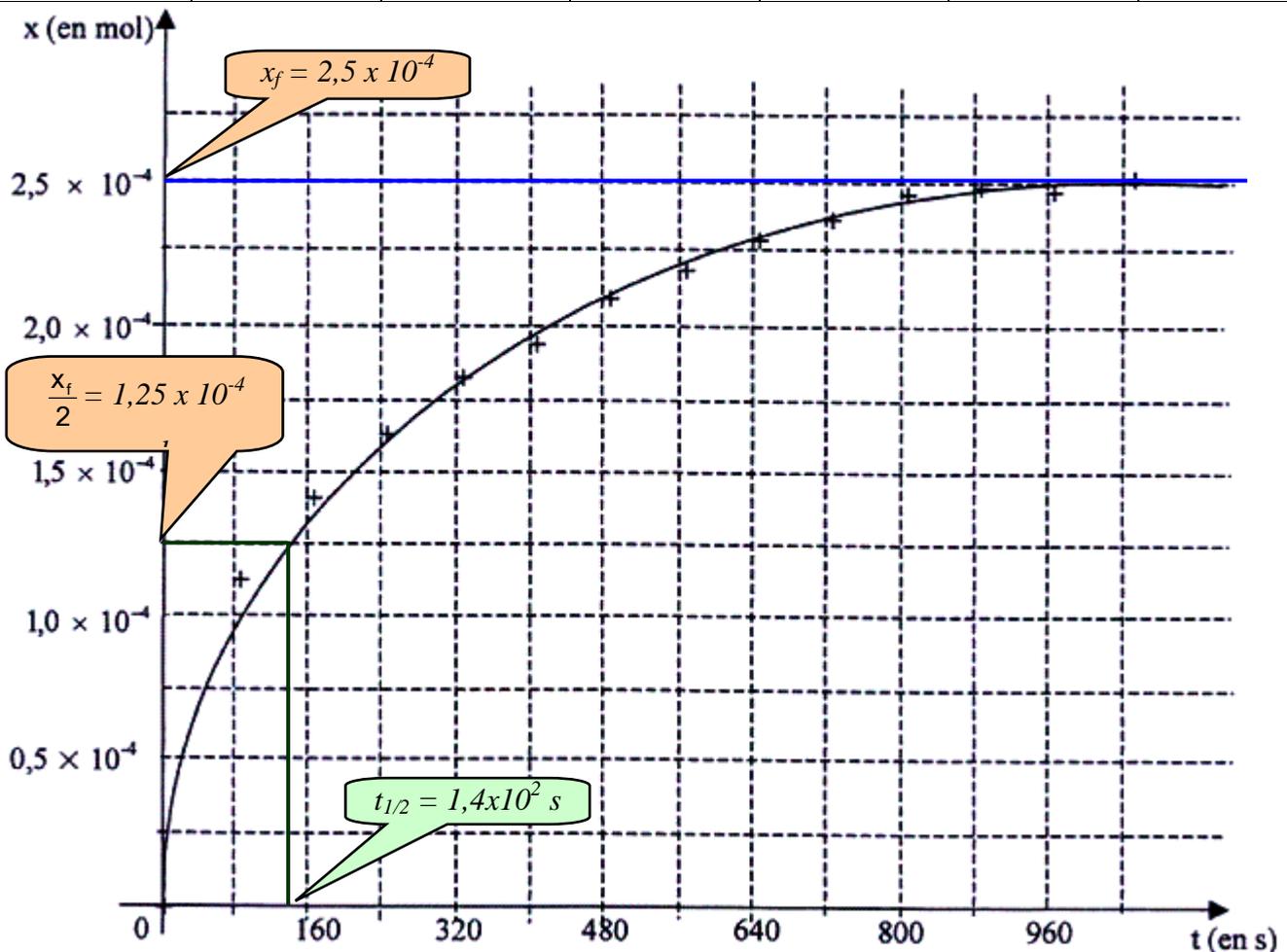
pour laquelle **seul le diiode I_2 est coloré**.

Le **spectrophotomètre** mesure la valeur de **l'absorbance $A_\lambda(t)$** de la solution colorée au cours du temps, pour une longueur d'onde λ donnée. Or la **loi de Beer-Lambert** indique que **l'absorbance est proportionnelle à la concentration de l'espèce colorée**, soit ici $A_\lambda(t) = k \cdot [\text{I}_2](t)$

Après un étalonnage du spectrophotomètre, la mesure de $A_\lambda(t)$ permet de connaître $[\text{I}_2](t)$ et donc de suivre l'évolution temporelle de la transformation chimique.

1.2. Tableau d'avancement

Équation de la réaction		$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{I}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{I}_2(\text{aq})$				
État du système	Avancement en mol	Quantité de matière en mol				
État initial	0	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3}$	excès	excès	0
État final	x_f	$2,5 \times 10^{-4} - x_f$	$1,5 \times 10^{-3} - 2x_f$	excès	excès	x_f



1.3. Lorsque la valeur de l'avancement n'évolue plus, l'état final est atteint. Graphiquement la valeur de l'avancement final est $x_f = 2,5 \times 10^{-4}$ mol.

1.4. Si la transformation est totale alors $x_f = x_{\max}$ et le réactif limitant est totalement consommé.

Si $H_2O_2(aq)$ est limitant alors $2,5 \times 10^{-4} - x_{\max} = 0 \Leftrightarrow x_{\max} = 2,5 \times 10^{-4}$ mol

Si $I^-(aq)$ est limitant alors: $1,5 \times 10^{-3} - 2x_{\max} = 0 \Leftrightarrow x_{\max} = 7,5 \times 10^{-4}$ mol

Le réactif limitant étant celui auquel est associé la plus petite valeur de x_{\max} , on en déduit que l'eau oxygénée est le réactif limitant et $x_{\max} = 2,5 \times 10^{-4}$ mol.

Le taux d'avancement final est: $\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{2,5 \times 10^{-4}}{2,5 \times 10^{-4}} = 1,0$.

Comme $\tau = 1,0$ la transformation est totale.

1.5. Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale :

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$$

1.6. Voir graphique précédent. Pour déterminer graphiquement $t_{1/2}$, on trace la droite $x = \frac{x_f}{2} = 1,25 \times 10^{-4}$ mol. Cette

droite coupe le graphe $x(t)$ en un point d'abscisse égale à $t_{1/2}$.

Graphiquement: $800 \text{ s} \Leftrightarrow 10,0 \text{ cm}$

$t_{1/2} \Leftrightarrow 1,75 \text{ cm}$

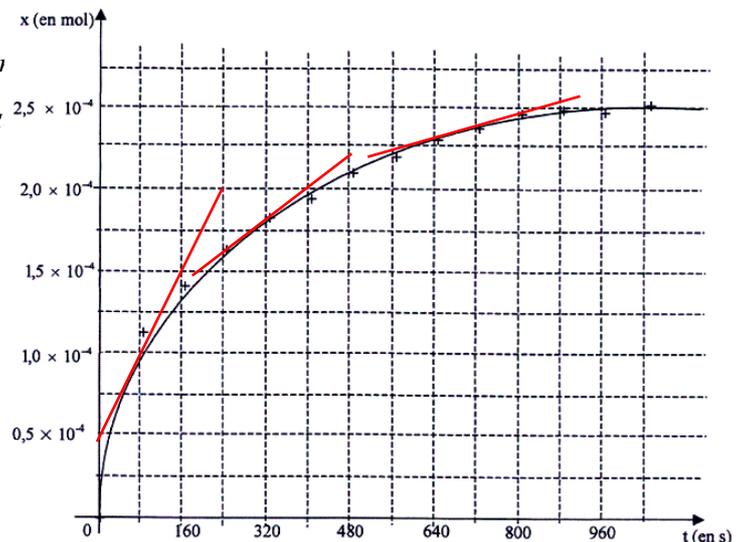
donc $t_{1/2} = 1,75 \times 800 / 10,0 = 1,4 \times 10^2 \text{ s}$

1.7. La vitesse volumique de réaction, définie par la relation

graphiquement, le coefficient directeur de la tangente au g

Or en traçant plusieurs tangentes sur le graphe, on constate que le terme $\frac{dx}{dt}$ diminue au cours du

temps. La vitesse de réaction diminue elle aussi au cours du temps.



2. Étude de la lumière utilisée dans le spectrophotomètre.

2.1.1. λ est la longueur d'onde de la radiation monochromatique considérée.

a est la largeur de la fente.

λ et a s'expriment en m.

θ s'exprime en rad (Le radian est une unité d'angle qui n'a pas de dimension physique contrairement à λ et a qui sont des longueurs).

2.1.2. Le phénomène de diffraction est d'autant plus observable que la largeur a de la fente est faible face à la longueur d'onde λ .

3.1.

Dans le triangle (ABC), rectangle en B on a $\tan \theta = \frac{\ell/2}{D} = \theta$ car θ est petit $\theta = \frac{\ell}{2.D}$ relation (2)

3.2. $\theta = \frac{\ell}{2.D}$ et $\theta = \frac{\lambda}{a}$ d'où $\frac{\ell}{2.D} = \frac{\lambda}{a}$ Soit $a = \frac{2.\lambda.D}{\ell}$ $a = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 3,00}{38 \times 10^{-3}} = 10 \times 10^{-5} \text{ m}$

4.1. La lumière émise par le laser est **monochromatique**. Elle contient une seule radiation lumineuse de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 633 \text{ nm}$.

Ne pas en dire trop dès le début, des questions suivent derrière...

4.2.1. $c = \lambda \cdot \nu$ donc $\nu = \frac{c}{\lambda}$

$$\nu = \frac{3,00 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}} = 4,74 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

4.2.2. Une onde lumineuse est caractérisée par sa fréquence ν . Celle-ci ne change pas quelque soit le milieu de propagation.

4.3. Les longueurs d'onde dans le vide du spectre visible vont de 400 nm (le violet) à 800 nm (le rouge).
Si $\lambda < 400 \text{ nm}$: domaine des ultraviolets et si $\lambda > 800 \text{ nm}$: domaine des infrarouges.

4.4. L'indice de réfraction du verre pour la fréquence ν de l'onde utilisée est $n = 1,61$.

4.4.1. Dans un milieu dispersif, la célérité v dépend de la fréquence ν de l'onde. Or l'énoncé indique

$n = \frac{c}{v}$, c étant constante si v varie alors l'indice de réfraction n varie.

4.4.2. D'après la relation de la question 2.2.1. $\lambda' = \frac{v}{\nu}$ avec v célérité de la lumière dans le verre.

Or $n = \frac{c}{v}$ soit $v = \frac{c}{n}$ Il vient : $\lambda' = \frac{c}{n \cdot \nu}$ et $\nu = \frac{c}{\lambda}$ (cf. 2.2.1.) donc $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$

$$\lambda = \frac{633 \times 10^{-9}}{1,61} = 393 \times 10^{-9} \text{ m} = 393 \text{ nm}.$$

4.5. On obtient une figure colorée allant du violet au rouge (couleurs de l'arc en ciel), c'est le spectre de la lumière blanche.

4.6. La déviation d augmente quand la longueur d'onde diminue, comme $\lambda_{\text{Rouge}} > \lambda_{\text{Bleu}}$ donc $d_{\text{Rouge}} < d_{\text{Bleu}}$.

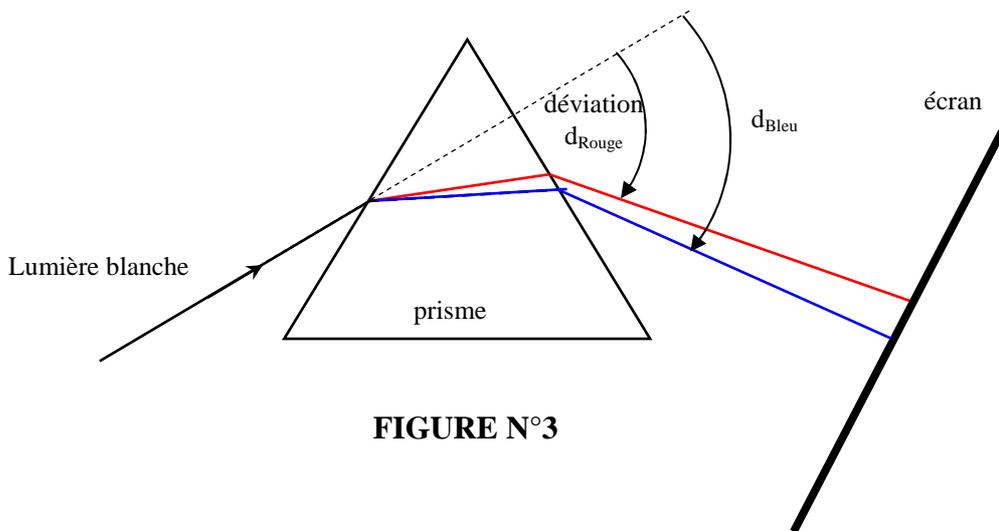


FIGURE N°3