

EPREUVE COMMUNE DE TERMINALE S. SCIENCES PHYSIQUES

Terminales S

Durée 3 h 30 min. Calculatrice autorisée.

Pour les non spécialistes, vous rédigerez sur une seule copie.

Pour les spécialistes, vous rédigerez votre exercice de spécialité sur une copie différente que vous rendrez séparément de vos deux exercices de tronc commun.

Les exercices 1 et 2 sont les exercices de tronc commun.

L'exercice 3 est celui des non spécialistes.

Exercice 1 : Etude de la famille de l'uranium, de la fission et de la fusion

Données (valables pour tout l'exercice)

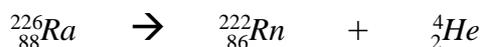
Unité de masse atomique	$u = 1,660\,54 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931,5 \text{ MeV}$
Électronvolt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Megaélectronvolt	$1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \text{ eV}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Nom du noyau ou de la particule	Radon	Radium	Hélium	Neutron	Proton	Électron
Symbole	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	${}^4_2\text{He}$	${}_0^1n$	${}_1^1p$	${}_{-1}^0e$
Masse (en u)	221,970	225,977	4,001	1,009	1,007	$5,49 \times 10^{-4}$

1. Désintégration du radium

L'air contient du radon 222 en quantité plus ou moins importante.

Ce gaz radioactif naturel est issu des roches contenant de l'uranium et du radium. Le radon se forme par désintégration du radium (lui-même issu de la famille radioactive de l'uranium 238), selon l'équation de réaction nucléaire suivante :



1.1. Quel est le type de radioactivité correspondant à cette réaction de désintégration?

Justifier votre réponse.

1.2. Défaut de masse

Donner l'expression littérale du défaut de masse Δm du noyau de symbole ${}_Z^AX$ et de masse m_X

Calculer le défaut de masse du noyau de radium Ra. L'exprimer en unité de masse atomique u.

1.3. Écrire la relation d'équivalence masse-énergie.

1.4. Le défaut de masse $\Delta m(\text{Rn})$ du noyau de radon Rn vaut $3,04 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Définir l'énergie de liaison E_l d'un noyau.

Calculer, en joule, l'énergie de liaison $E_l(\text{Rn})$ du noyau de radon.

Vérifier que cette énergie de liaison vaut $1,71 \times 10^3 \text{ MeV}$.

En déduire l'énergie de liaison par nucléon E_l/A du noyau de radon.

Exprimer ce résultat en MeV.nucléon^{-1} .

1.5. Bilan énergétique.

Établir littéralement la variation d'énergie ΔE de la réaction (1) en fonction de m_{Ra} , m_{Rn} et m_{He} , masses respectives des noyaux de radium, de radon et d'hélium.

Exprimer ΔE en joule.

2. Fission de l'uranium 235.

À l'état naturel, l'élément uranium comporte principalement les isotopes ${}^{238}_{92}\text{U}$ et ${}^{235}_{92}\text{U}$.

Dans une centrale nucléaire "à neutrons lents", le combustible est de l'uranium « enrichi ».

Lors de la fission d'un noyau d'uranium 235, un grand nombre de réactions sont possibles.

Parmi celles-ci, il y en a une qui donne les noyaux de zirconium et de tellure, dont les symboles des noyaux sont ${}^{99}_{40}\text{Zr}$ et ${}^{134}_{52}\text{Te}$.

2.1. Définir le terme "isotope"

2.2. Intérêt énergétique de la fission

Donner la définition de la fission.

Écrire la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 bombardé par un neutron, conduisant à la formations de Zr et de Te.

Les noyaux U, Zr et Te sont placés sur la courbe d'Aston (**Annexe 1 à rendre avec la copie**).

À partir de cette courbe, dégager l'intérêt énergétique de cette réaction de fission

3. Étude de la famille uranium 238 – plomb 206

La détermination de l'âge de la Terre a commencé vers le XVI^e siècle, on l'estimait alors autour de 5 000 ans. Au XIX^e siècle, des scientifiques admettaient un âge d'environ 100 millions d'années.

La découverte de la radioactivité, par H. Becquerel en 1896, bouleversa toutes les données connues.

La datation à l'uranium - plomb permet de déterminer assez précisément l'âge de la Terre.

Nous proposons de comprendre cette technique de datation.

Le noyau d'uranium 238, naturellement radioactif, se transforme en un noyau de plomb 206, stable, par une série de désintégrations successives. Nous allons étudier ce processus.

(On ne tiendra pas compte de l'émission γ).

3.1. Dans la première étape, un noyau d'uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$ subit une radioactivité α . Le noyau fils est du thorium (symbole Th).

3.1.1. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

3.1.2. Écrire l'équation de la réaction nucléaire en précisant les règles utilisées.

3.2. Dans la deuxième étape, le noyau de thorium 234 se transforme en un noyau de protactinium ${}^{234}_{91}\text{Pa}$.

L'équation de la réaction nucléaire est : ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}e$

Préciser, en justifiant, le type de radioactivité correspondant à cette transformation.

3.3. L'équation globale du processus de transformation d'un noyau d'uranium 238 en un noyau de plomb 206 est : ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 6 {}^0_{-1}e + 8 {}^4_2\text{He}$

Déterminer, en justifiant, le nombre de désintégrations α et β^- de ce processus.

4. Géochronologie :

On a constaté d'une part, que les minéraux d'une même couche géologique, donc du même âge, contiennent de l'uranium 238 et du plomb 206 en proportions remarquablement constantes, et d'autre part que la quantité de plomb dans un minéral augmente proportionnellement à son âge relatif.

Si on mesure la quantité de plomb 206 dans un échantillon de roche ancienne, en considérant qu'il n'y en avait pas initialement, on peut déterminer l'âge du minéral à partir de la courbe de décroissance radioactive du nombre de noyaux d'uranium 238.

Étudions un échantillon de roche ancienne dont l'âge, noté t_{Terre} , correspond à celui de la Terre.

4.1. On considère la courbe de décroissance radioactive du nombre $N_U(t)$ de noyaux d'uranium 238 dans un échantillon de roche ancienne. (VOIR ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE).

4.1.1. Indiquer la quantité initiale $N_U(0)$ de noyaux d'uranium.

4.1.2. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ de l'uranium 238 (représenter la construction sur la courbe de l'annexe). En déduire la valeur de sa constante de radioactivité λ .

4.1.3. Donner l'expression de $N_U(t)$, nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date t , en fonction de $N_U(0)$.

Calculer le nombre de noyaux d'uranium 238 qui restent dans la roche à la date $t_1 = 1,5 \cdot 10^9$ années.

Vérifier graphiquement votre résultat.

4.1.4. Définir et déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'uranium 238 (représenter la construction sur la courbe de l'annexe).

4.2. La quantité de plomb mesurée dans la roche à la date t_{Terre} , notée $N_{\text{pb}}(t_{\text{Terre}})$, est égale à $2,5 \cdot 10^{12}$ atomes.

4.2.1. Établir la relation entre $N_U(t_{\text{Terre}})$, $N_U(0)$ et $N_{\text{pb}}(t_{\text{Terre}})$. Calculer la quantité $N_U(t_{\text{Terre}})$ de noyaux d'uranium.

4.2.2. Déterminer l'âge t_{Terre} de la Terre.

Exercice 2 : Détermination d'une constante de deux manières possibles

1. LA TRANSFORMATION CHIMIQUE ÉTUDIÉE

L'acide éthanoïque $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, également appelé acide acétique, réagit de façon limitée avec l'eau selon l'équation chimique : $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = \text{CH}_3\text{CO}_2^{-}_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^{+}_{(\text{aq})}$

1.1. Donner la définition d'un acide selon Brönsted.

1.2. Dans l'équation ci-dessus, identifier puis écrire les deux couples acide/base mis en jeu.

1.3. Exprimer la constante d'équilibre K associée à l'équation de cet équilibre chimique.

2. ÉTUDE pH-METRIQUE

Une solution d'acide éthanoïque, de concentration molaire initiale $c_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ et de volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ a un pH de 3,70 à 25°C.

2.1. Déterminer la quantité de matière initiale d'acide éthanoïque n_1 .

2.2. Compléter le tableau d'avancement (à recopier avec la copie) en fonction de n_1 , x_{max} ou x_f . Exprimer puis calculer l'avancement maximal théorique noté x_{max} . Justifier la réponse.

ANNEXE (À RECOPIER SUR LA COPIE)

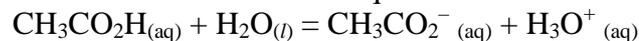
	Avancement	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})}$	+	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	=	$\text{CH}_3\text{CO}_2^{-}_{(\text{aq})}$	+	$\text{H}_3\text{O}^{+}_{(\text{aq})}$
État initial	$x = 0$			en excès				
Etat intermédiaire	x			en excès				
État final expérimental ou état d'équilibre	$x =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

- 2.3.** Déduire, de la mesure du pH, la concentration molaire finale en ions oxonium de la solution d'acide éthanoïque.
Exprimer puis calculer l'avancement final expérimental de la réaction noté x_f
- 2.4.** Donner l'expression littérale du taux d'avancement final τ_1 de la réaction. Vérifier que τ_1 est égal à $7,4 \cdot 10^{-2}$.
La transformation étudiée est-elle totale ? Justifier la réponse.
- 2.5.1.** Exprimer puis calculer la concentration molaire finale en ions éthanoate CH_3CO_2^- (aq).
- 2.5.2.** Exprimer la concentration molaire finale effective de l'acide éthanoïque $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_f$. Calculer sa valeur.
- 2.6.** Vérifier, en posant l'opération, que la valeur de la constante d'équilibre K_1 associée à l'équation de cet équilibre chimique est égale à $1,6 \cdot 10^{-5}$.

3. ÉTUDE CONDUCTIMÉTRIQUE

On mesure ensuite, à 25°C, la conductivité d'une solution d'acide éthanoïque de concentration $c_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. Le conductimètre indique : $\sigma = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$.

On rappelle l'équation de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau :



- 3.1.** On néglige toute autre réaction chimique. Citer les espèces ioniques majoritaires présentes dans cette solution. Donner la relation liant leur concentration molaire.
- 3.2.** Donner l'expression littérale de la conductivité σ de la solution en fonction des concentrations molaires finales en ions oxonium et en ions éthanoate.
- 3.3.** Donner l'expression littérale permettant d'obtenir les concentrations molaires finales ioniques en fonction de σ , $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$, $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}$. Déterminer la valeur de la concentration molaire finale en ions oxonium et éthanoate en mol.m^{-3} , puis en mol.L^{-1} .

$$\text{Données: } \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,9 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad \lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

- 3.4.** L'expérimentateur affirme que dans le cas présent, la solution d'acide éthanoïque est suffisamment concentrée pour pouvoir faire les approximations suivantes:

Approximation 1: la concentration molaire finale en ions éthanoate est négligeable devant la concentration initiale en acide éthanoïque. Ceci se traduit par l'inégalité: $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f < \frac{c_2}{50}$

Approximation 2: la concentration molaire finale en acide éthanoïque est quasiment égale à la concentration molaire initiale en acide éthanoïque: $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_f \approx c_2$

- 3.4.1.** Comparer les valeurs de c_2 et $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f$ (calculée à la question 3.3.). L'approximation n°1 est-elle justifiée?
- 3.4.2.** En supposant que l'approximation n°2 soit vérifiée, que peut-on dire de la dissociation de l'acide? En déduire si la transformation chimique est totale, limitée ou très limitée. Justifier la réponse.
- 3.4.3.** En tenant compte de l'approximation n°2, vérifier, en posant l'opération, que la valeur de la constante d'équilibre K_2 associée à l'équation de cet équilibre chimique est égale à $1,56 \cdot 10^{-5}$.

- 3.4.4.** Le taux d'avancement final pour la solution considérée est donné par l'expression: $\tau_2 = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f}{c_2}$

Vérifier, en posant l'opération, que le taux d'avancement final de la réaction τ_2 est égal à $1,25 \cdot 10^{-2}$.

4. CONCLUSION: COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS

On vient d'étudier deux solutions d'acide éthanoïque de concentrations initiales différentes.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

	Concentration molaire initiale d'acide éthanoïque	Constante d'équilibre	Taux d'avancement final
Étude pHmétrique	$c_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-5}$	$\tau_1 = 7,40 \cdot 10^{-2}$
Étude conductimétrique	$c_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$	$K_2 \approx 1,6 \cdot 10^{-5}$	$\tau_2 = 1,25 \cdot 10^{-2}$

- 4.1. La constante d'équilibre K dépend-elle de la concentration initiale en acide éthanoïque? Justifier la réponse à partir du tableau.
- 4.2. Le taux d'avancement final d'une transformation chimique limitée dépend-il de l'état initial du système chimique? Justifier la réponse à partir du tableau.
- 4.3. Un élève propose les deux affirmations suivantes. Préciser si elles sont justes ou fausses, une justification est attendue.
- Affirmation 1: Plus l'acide est dissocié et plus le taux d'avancement final τ est grand.
- Affirmation 2: Plus la solution d'acide éthanoïque est diluée, moins l'acide est dissocié.

Exercice 3 : pour les non spécialistes : étude spectrophotométrique et diffraction

1. Étude spectrophotométrique d'une réaction chimique.

On se propose d'étudier la cinétique de la réaction entre l'eau oxygénée H_2O_2 et les ions iodure I^- en milieu acide.

Les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont : $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$ et $\text{I}_2(\text{aq}) / \text{I}^-(\text{aq})$.

L'équation de la réaction est : $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{I}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{I}_2(\text{aq})$.

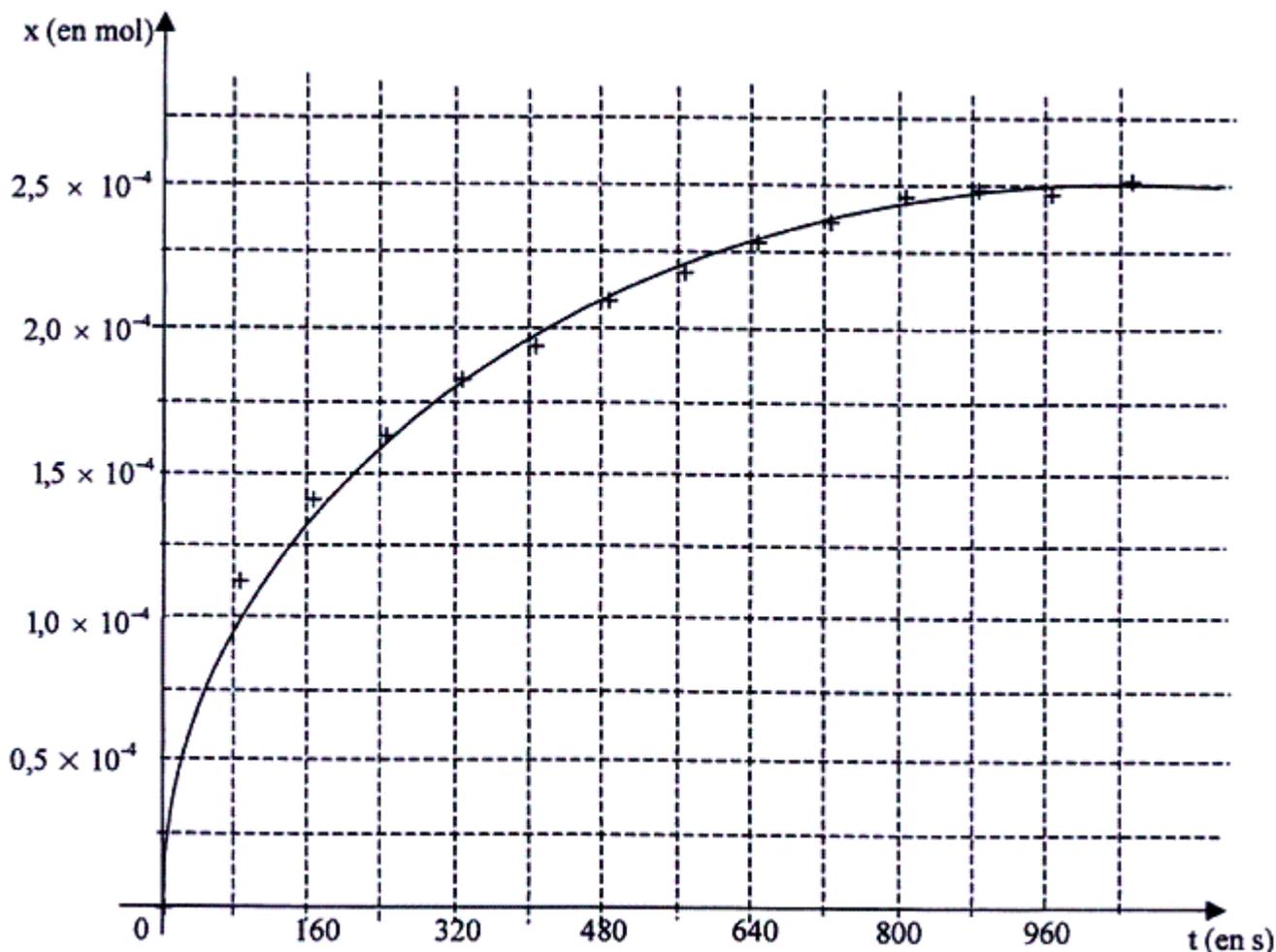
Parmi les espèces chimiques présentes dans le système, seul le diiode I_2 est coloré.

1.1. Expliquer pourquoi on peut utiliser un spectrophotomètre pour suivre l'évolution de la transformation.

1.2. Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système

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			excès	excès	

Les mesures effectuées avec le spectrophotomètre, réglé à la longueur d'onde $\lambda = 580 \text{ nm}$, permettent de tracer la courbe représentant l'évolution de l'avancement x de la réaction en fonction du temps : $x = f(t)$.



1.3. Déduire de la courbe la valeur de l'avancement final.

1.4. Déterminer l'avancement maximal, puis le taux d'avancement final. La transformation peut-elle être considérée comme totale ?

1.5. Définir de manière générale le temps de demi-réaction.

1.6. Déterminer graphiquement la valeur numérique du temps de demi-réaction.

1.7. La vitesse volumique de réaction est définie par la relation : $v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$

Comment évolue la vitesse de réaction en fonction du temps ? Justifier en utilisant la courbe $x = f(t)$.

2. Étude de la lumière utilisée dans le spectrophotomètre.

La connaissance des réseaux n'est pas requise pour la suite du problème.

2.1.1. Lorsqu'une radiation monochromatique traverse une fente, l'écart angulaire θ du faisceau diffracté qu'il présente avec la direction moyenne de propagation est donné par : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ (relation 1).

Que représente λ ? Que représente a ? Quelles sont les unités, dans le système international, de θ , λ , et a ?

2.1.2. Le spectrophotomètre utilise une source de lumière blanche. Cette lumière est envoyée sur un réseau : ensemble de fentes très fines parallèles entre elles et équidistantes qui diffractent la lumière.

Quelle condition sur la largeur d'une fente est nécessaire pour que le phénomène de diffraction soit nettement observable ?

3. Etude de la diffraction.

Grâce à une fenêtre étroite, on peut isoler une lumière quasi monochromatique de longueur d'onde 633 nm .

Un écran situé à une distance D de la fente, montre des taches lumineuses réparties sur une ligne verticale. La tache centrale plus lumineuse que les autres, est la plus large (**voir figure 1 donnée en ANNEXE n°3, à rendre avec la copie**).

3.1. Exprimer θ en fonction de la largeur ℓ de la tache centrale et de la distance D (relation (2)). L'angle θ étant faible, on pourra utiliser l'approximation $\tan\theta \approx \theta$.

3.2. En utilisant les relations (1) et (2), montrer que la largeur a de la fente s'exprime par la relation :

$$a = \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{\ell}. \text{ Calculer } a.$$

On donne : $\ell = 38 \text{ mm}$ et $D = 3,00 \text{ m}$.

3.3 On fait évoluer cette expérience en utilisant, comme milieu dispersif, un prisme en verre d'indice de réfraction n (**voir figure 2 en ANNEXE N°3 à rendre avec la copie**).

On dirige, suivant une incidence donnée, le faisceau vers l'une des faces du prisme placé dans l'air. On observe que ce faisceau est dévié. Un écran placé derrière le prisme montre un point lumineux de même couleur (rouge) que le faisceau incident.

Quelle est la nature de la lumière émise par ce dispositif? Justifier votre réponse.

3.4. La célérité de la lumière dans le vide est $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

3.4.1. Rappeler la relation entre la longueur d'onde λ de l'onde émise par le laser, sa fréquence ν et sa célérité c . Calculer ν .

3.4.2. La valeur de ν varie-t-elle lorsque cette onde change de milieu de propagation ?

3.5 On remplace la lumière du laser par une lumière blanche (**figure 3 donnée en ANNEXE N°3 à rendre avec la copie**).

3.5.1 Qu'observe-t-on sur l'écran ?

3.5.2 Les traits en pointillé (**figure 3**) correspondent aux trajets de deux rayons lumineux de couleurs respectives rouge et bleu. Tracer, en les identifiant clairement, ces deux rayons. On rappelle que la déviation d augmente quand la longueur d'onde diminue.

ANNEXE N°3 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

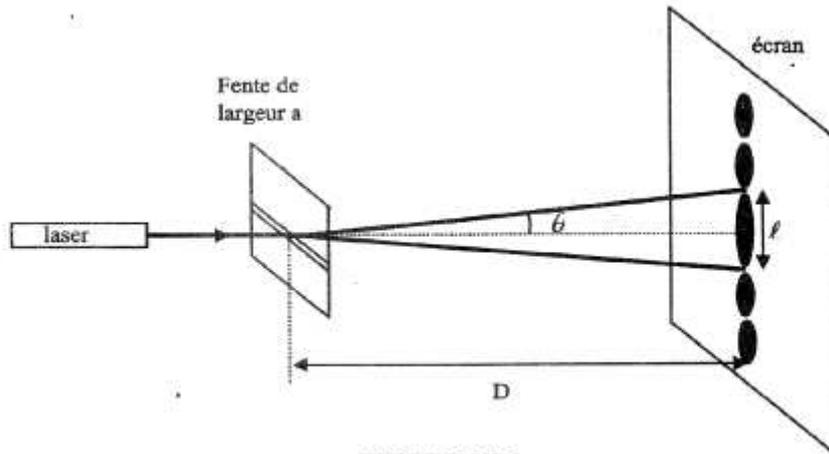


FIGURE N° 1

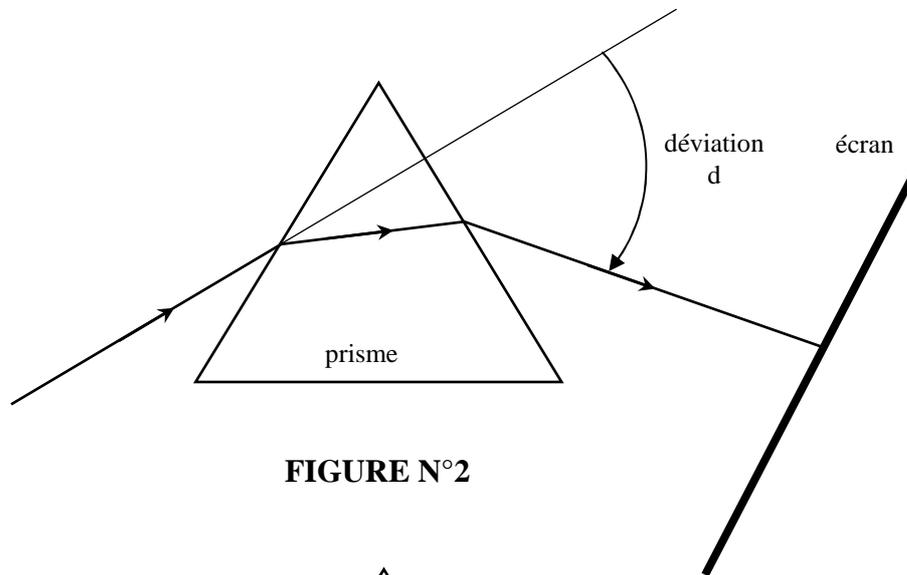


FIGURE N°2

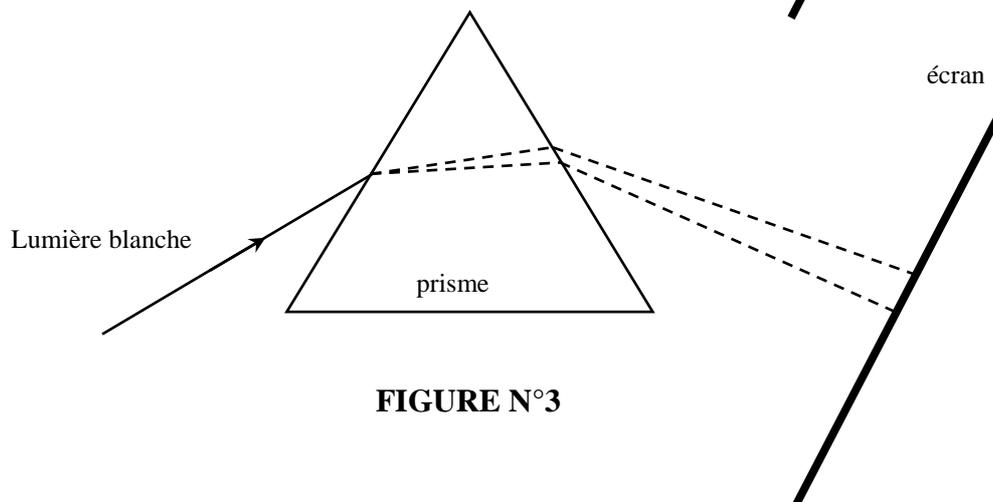


FIGURE N°3

Courbe de décroissance radioactive de l'uranium 238

