I. L'âge de la Terre

- *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 permit de déterminer assez précisément l'âge de la Terre.*
- *Nous proposons de comprendre cette technique de datation.*

1. Étude de la famille uranium 238 – plomb 206

- 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).*

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

1.1.1 Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

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

1.2. Dans la deuxième étape, le noyau de thorium 234 se transforme en un noyau de protactinium $^{234}_{91}\mathrm{Pa}$. L'équation de la réaction nucléaire est : $^{234}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} + {}^{0}_{-1}e$

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

1.3. L'équation globale du processus de transformation d'un noyau d'uranium 238 en un noyau de plomb 206 est : $^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + 6\,{}^{0}_{-1}e + 8\,{}^{4}_{2}\mathrm{He}$

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

2. 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.*

2.1. On considère la courbe de décroissance radioactive du nombre $N_U(t)$ de noyaux d'uranium 238 dans un échantillon de roche ancienne. (Voir **l'annexe**).

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

2.1.2 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.

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

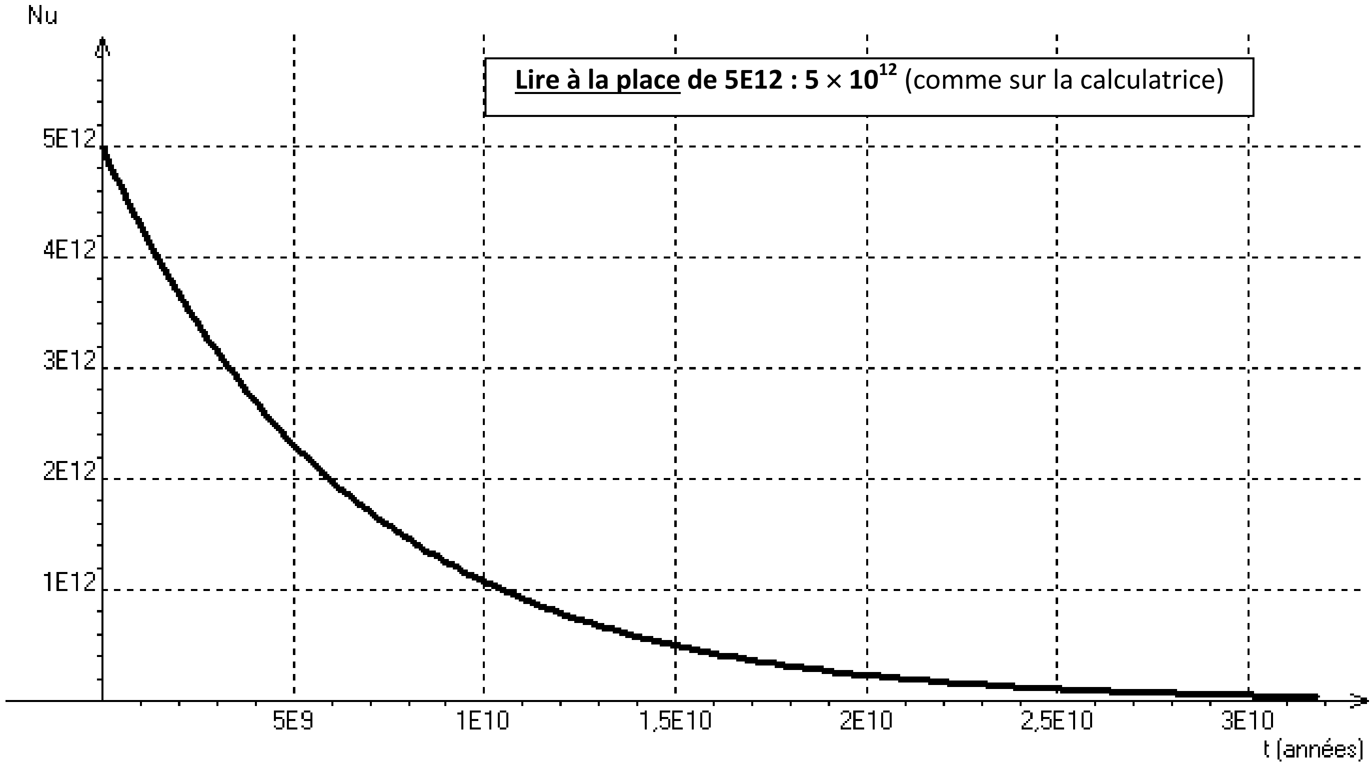
2.1.4 Calculer le nombre de noyaux d'uranium 238 qui restent dans la roche à la date $t_1 = 1{,}5.10^9$ années. Vérifier graphiquement votre résultat.

2.1.5 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**).

2.2. La quantité de plomb mesurée dans la roche à la date t_{Terre}, notée $N_{pb}(t_{\mathrm{Terre}})$, est égale à $2{,}5.10^{12}$ atomes.

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

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

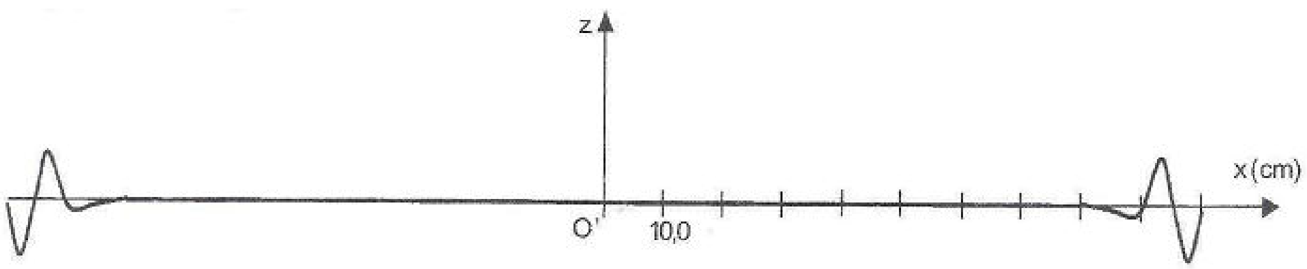


II. Les ondes

Les 3 parties de cet exercice sont indépendantes les unes des autres.

1- Propagation des ondes mécaniques

- Un caillou est lancé d'un pont à la verticale du point O' situé sur l'eau d'une rivière. La date de l'impact est notée $t_0 = 0$ s. On observe alors un phénomène se propageant à la surface de l'eau dont une vue en coupe, à une date *t,* est donnée ci-dessous :



Donner la définition d'une onde mécanique progressive.

L'onde se propageant à la surface de l'eau est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier votre réponse.

L'onde considérée est-elle périodique ? Justifier votre réponse,

L'onde atteint une feuille située en $x_1 = 2{,}00.10^{-1}$ m à la date $t_1 = 2{,}00$ s. Afin de simplifier l'exercice, la feuille est considérée comme ponctuelle.

Déterminer la célérité de l'onde considérée.

A partir du schéma de coupe donné précédemment, déterminer la date *t'* à laquelle la feuille sera à nouveau immobile à la surface de l'eau ?

2- Propagation de la lumière : Première expérience

- Cette partie décrit une expérience utilisant une lumière de couleur rouge, émise par un laser, de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 633$ nm.
- On place perpendiculairement au faisceau lumineux et à quelques centimètres du laser, une fente fine et verticale de largeur *a*. Un écran situé à une distance D de la fente, montre des taches lumineuses réparties sur une ligne horizontale. La tache centrale plus lumineuse que les autres, est la plus large (**voir figure 1 donnée en annexe**).

Quel phénomène subit la lumière émise par le laser dans cette expérience ? Que peut-on en conclure par analogie avec les ondes mécaniques ?

L'angle θ (de la figure 1) est donné par la relation : $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$ (relation (1)) Que représente cet angle ?

Préciser les unités de chaque terme intervenant dans cette relation.

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 $\tan\theta \approx \theta$ avec θ en radians.

En utilisant les relations (1) et (2), montrer que la largeur *a* de la fente s'exprime par le relation : $a = \dfrac{2.\lambda.D}{\ell}$.

Calculer *a*. **On donne :** ℓ = 38 mm et D = 3,00 m.

<u>Propagation de la lumière : Deuxième expérience</u>

- On utilise toujours une lumière de couleur rouge, émise par un laser, de longueur d'onde dans le vide λ = 633 nm.
- On rappelle que l'indice de réfraction n d'un milieu est le rapport de la célérité c de la lumière dans le vide et de sa vitesse v dans le milieu considéré : $n = \dfrac{c}{v}$
- On utilise dans cette expérience, comme milieu dispersif, un prisme en verre d'indice de réfraction n (**voir figure 2**).
- On dirige, suivant une incidence donnée, le faisceau laser 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 le laser ? Justifier votre réponse.

La célérité de la lumière dans le vide est $c = 3{,}00\times10^{8}$ m.s^{-1}.

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

La valeur de f varie-t-elle lorsque cette onde change de milieu de propagation ?

Donner les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible et les couleurs correspondantes. Situer les domaines des rayonnements ultraviolets et infrarouges par rapport au domaine du spectre visible.

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

Pourquoi précise-t-on la fréquence f de l'onde lorsqu'on donne la valeur de n ?

Calculer la longueur d'onde λ' de cette onde dans le verre.

- On remplace la lumière du laser par une lumière blanche (**figure 3**).

Qu'observe-t-on sur l'écran ?

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.

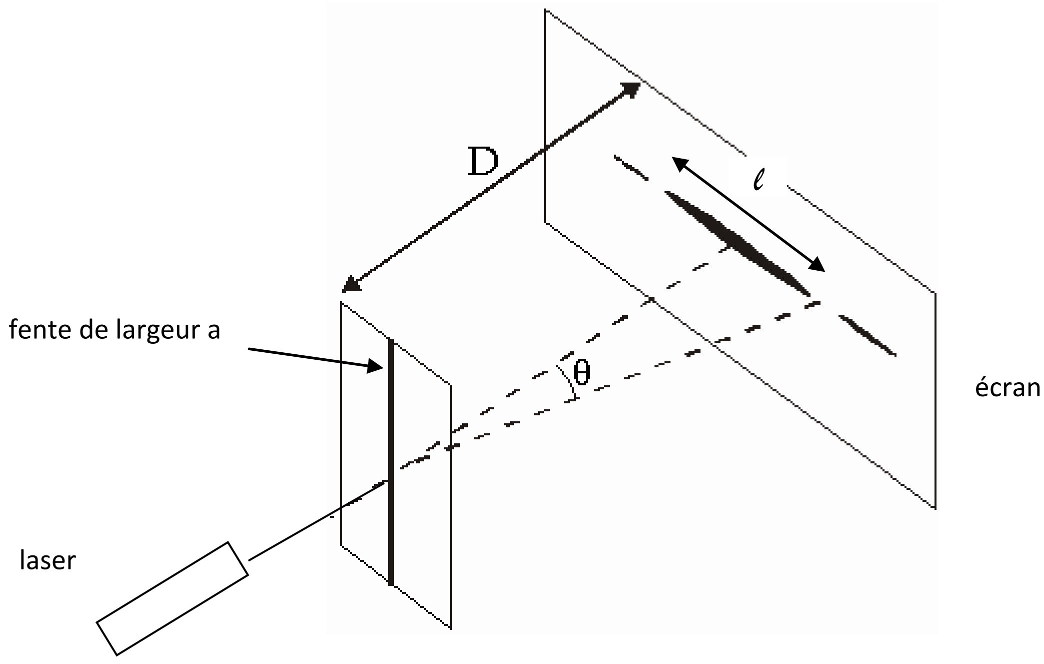


FIGURE N°1

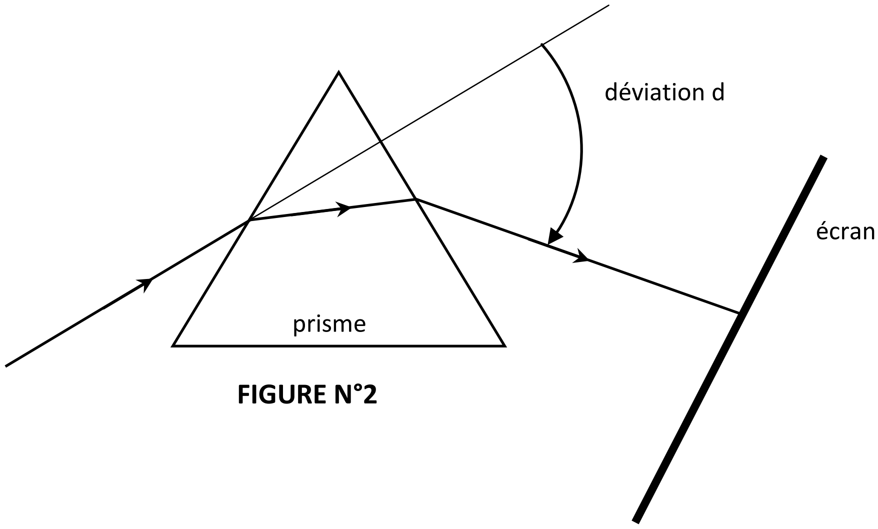


FIGURE N°2

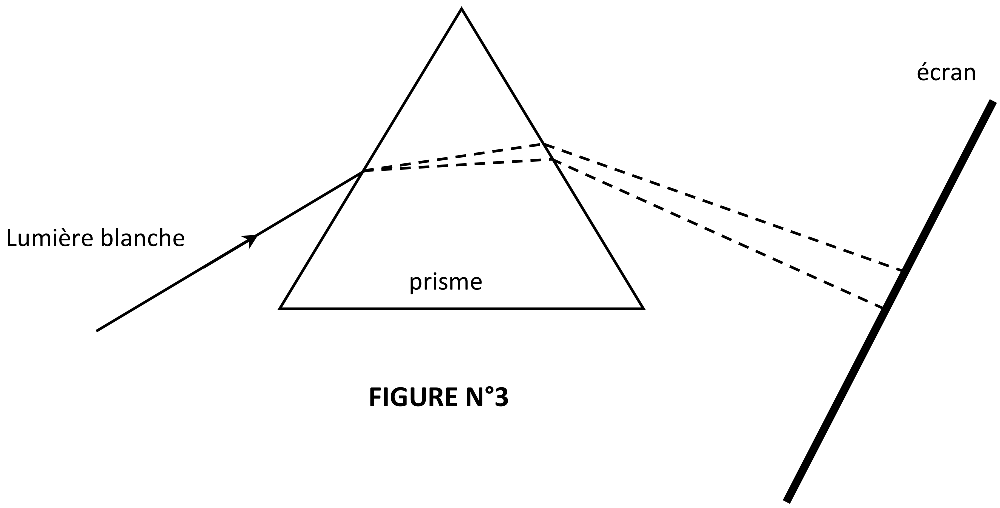


FIGURE N°3

Correction

I- L'âge de la Terre

1. Étude de la famille uranium 238 – plomb 206

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

${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{234}_{90}Th$ ${}^{4}_{2}He$: particule α

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

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

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^-**.

Géochronologie

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

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 = τ.

$\tau = 6{,}5.10^9$ ans *méthode peu précise, ne pas donner trop de chiffres significatifs*

Constante radioactive: $\lambda = \frac{1}{\tau}$ soit $\lambda = \frac{1}{6{,}5 \times 10^9} = \mathbf{1{,}5.10^{-10}\ an^{-1}}$

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

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

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 = $\mathbf{t_{1/2} = 4{,}5.10^9}$ **ans**.

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

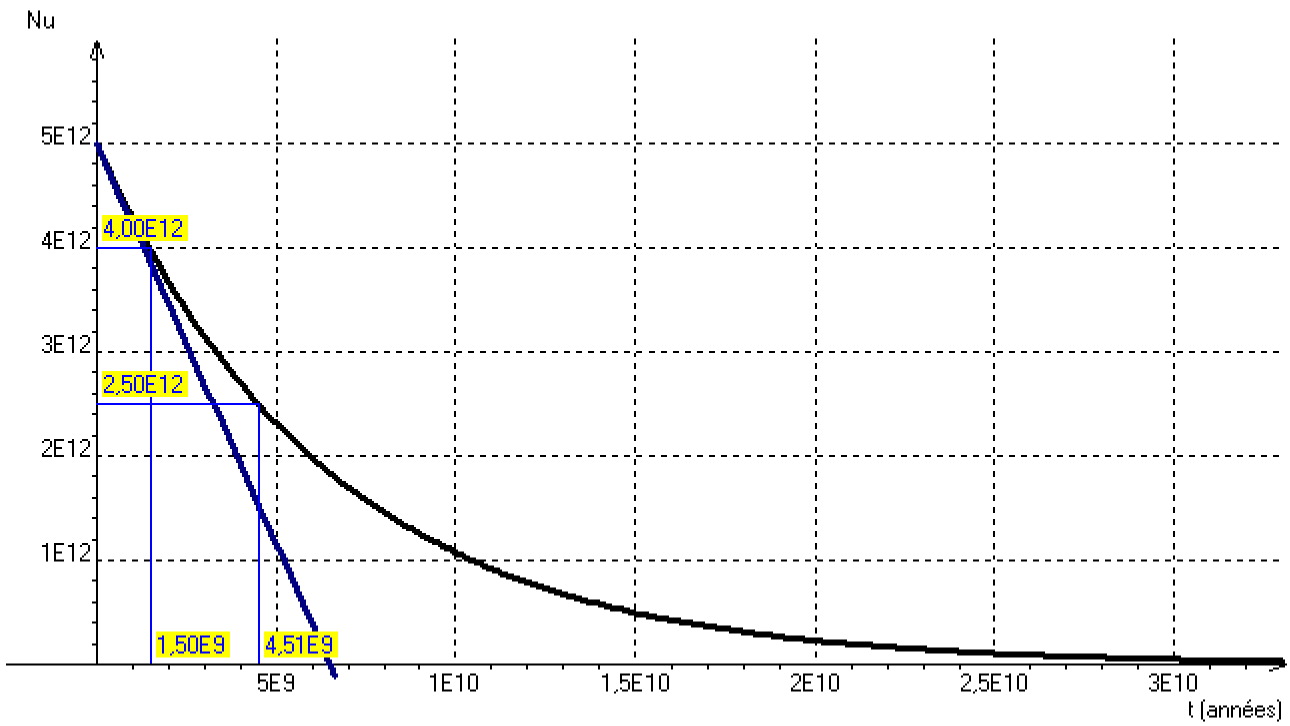
$N_U(0) = N_U(t_{Terre}) + N_{Pb}(t_{Terre})$ soit $\mathbf{N_U(t_{Terre}) = N_U(0) - N_{Pb}(t_{Terre})}$

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

Méthode 1: On constate que $N_U(t_{Terre}) = N_U(0)/2$. Donc $t_{Terre} = t_{1/2}$; $\mathbf{t_{Terre} = 4{,}5.10^9}$ **ans**

Méthode 2: $N_U(t_{Terre}) = N_U(0) \times e^{-\lambda.t}$ d'où $\frac{N_U(t_{Terre})}{N_U(0)} = e^{-\lambda\, t}$ soit $-\lambda.t_{Terre} = \ln(\frac{N_U(t_{Terre})}{N_U(0)})$

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



$t_{Terre} = -6{,}5.10^9 \ln(\frac{1}{2}) = \mathbf{4{,}5.10^9}$ **ans**

II- Les ondes

- Les 3 parties de cet exercice sont indépendantes les unes des autres.

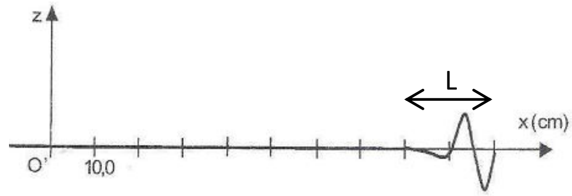
1- Propagation des ondes mécaniques

On appelle **onde mécanique progressive**, le phénomène de propagation d'une **perturbation** dans un milieu matériel sans **transport de matière** mais avec transport d'énergie.

L'onde à la surface de l'eau est **transversale** car la direction de la perturbation (la verticale) est **perpendiculaire** à la direction de propagation de l'onde (l'horizontale).

L'onde **n'est pas périodique** car le mouvement du point source (et des autres points de la surface de l'eau) ne se répète pas à intervalle de temps réguliers.

Soit v la célérité de l'onde, alors : $v = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0}$ donc $v = \frac{2{,}00 \times 10^{-1} - 0{,}00}{2{,}00 - 0{,}00}$ = **$0{,}100\ m.s^{-1}$.**



La perturbation a une longueur L = 20,0 cm d'après le schéma. La feuille, supposée ponctuelle, sera en mouvement pendant la durée t_f telle que : $t_f = \frac{L}{v}$; soit $t_f = \frac{20{,}0 \times 10^{-2}}{0{,}100} = 2{,}00$ s

La date t' pour laquelle la feuille sera à nouveau immobile est alors:
$t' = t_1 + t_f$ = 2,00 + 2,00 = **4,00 s**.

2- Propagation de la lumière : Première expérience

Le phénomène mis en évidence dans cette expérience est la diffraction. Par analogie avec la diffraction des ondes mécaniques, on peut dire que la lumière possède un caractère ondulatoire.

En l'absence du phénomène de diffraction, le rayon lumineux se propagerait en ligne droite. En réalité, après passage par la fente fine, la lumière se propage en formant des cônes lumineux qui forment des taches sur l'écran. L'angle θ représente la demi-largeur angulaire de la tache centrale de diffraction.

θ s'exprime en radians (rad) ; λ longueur d'onde s'exprime en mètres (m) ; a largeur de la fente s'exprime en mètres (m).

Plus la largeur *a* de la fente est petite, plus l'écart angulaire θ est grand (cf. relation (1)). La largeur de la tache centrale **augmente**.

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

$\theta = \frac{\ell}{2D}$ et $\theta = \frac{\lambda}{a}$; d'où $\frac{\ell}{2D} = \frac{\lambda}{a}$ soit $a = \frac{2.\lambda.D}{\ell}$;

$a = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 3{,}00}{38 \times 10^{-3}}$ = **10×10^{-5} m**

3- Propagation de la lumière : Deuxième expérience

La lumière émise par le laser est **monochromatique**. Elle contient une seule radiation lumineuse de longueur d'onde dans le vide λ = 633 nm.

$c = \lambda.f$ donc $f = \frac{c}{\lambda}$; $f = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{633 \times 10^{-9}} = 4{,}74 \times 10^{14}$ Hz

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

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

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

Dans un milieu dispersif, la célérité v dépend de la fréquence f de l'onde. Or l'énoncé indique n = c/v , c étant constante si v varie alors l'indice de réfraction n varie.

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

Or $n = \frac{c}{v}$ soit $v = \frac{c}{n}$. Il vient : $\lambda' = \frac{c}{n.f}$ et $f = \frac{c}{\lambda}$ (cf. 2.2.1.) donc $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$; $\lambda = \frac{633 \times 10^{-9}}{1{,}61} = 393 \times 10^{-9}$ m = 393 nm.

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

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

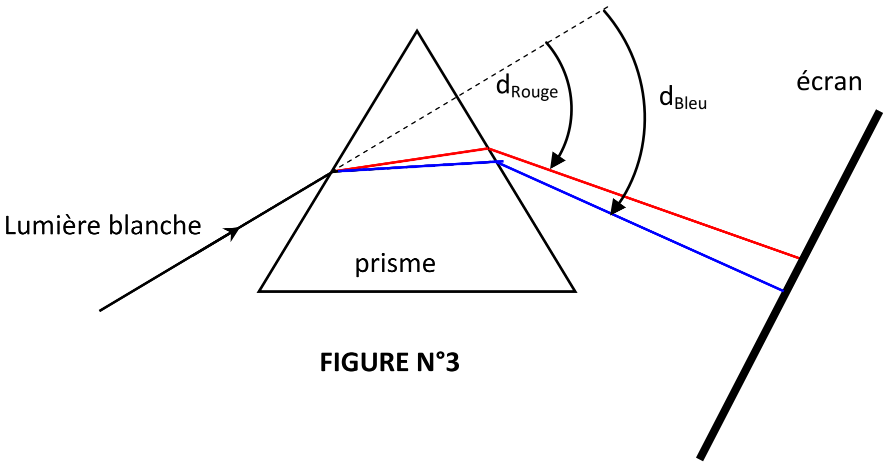


FIGURE N°3