I- Du chlore dans l'eau

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.

Du chlore dans les eaux souterraines

Il existe deux principaux isotopes stables du chlore (dont les nombres de masse sont 35 et 37) trouvés dans les proportions respectives de 3 pour 1 et qui donnent aux atomes en vrac une masse molaire atomique apparente de 35,5 g.mol^{-1}.

Le chlore a 9 isotopes avec des nombres de masse s'étendant de 32 à 40. Seulement trois de ces isotopes existent à l'état naturel : le Cl-35 stable (75,77 %), le Cl-37 stable (24,23 %) et le Cl-36 radioactif. Le rapport du nombre de noyaux de Cl-36 au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de 7,0×10^{-13} actuellement.

Le «chlore 36» (Cl-36) se désintègre essentiellement en « argon 36 » (Ar-36). La demi-vie du Cl-36 est de 301×10^{3} ans. Cette valeur le rend approprié pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années.

D'après un article d'encyclopédie

- **<u>Données</u>** :
  - Relation entre le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$
  - Mathématiques : $\ln(e^x) = x$; $\ln(a \times b) = \ln(a) + \ln(b)$; $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$; $\ln(a^n) = n \times \ln(a)$
  - Relation entre l'activité A d'un échantillon et le nombre moyen de noyaux N présent dans cet échantillon, à une date t donnée : $A(t) = \lambda . N(t)$
  - 1 an = 3,156×10^{7} s
  - Célérité de la lumière dans le vide : c = 2,998×10^{8} m.s^{-1}
  - Masse molaire atomique du chlore : M(Cl) = 35,5 g.mol^{-1}
  - Constante d'Avogadro : N_A = 6,02×10^{23} mol^{-1}
  - Masse et numéro atomique (ou nombre de charge) de quelques particules et noyaux:

Particule ou noyau	*proton*	*neutron*	*chlore 36*	*argon 36*
Masse (10^{-27} kg)	*1,672 62*	*1,674 92*	*59,711 28*	
Z	*1*	*0*	*17*	*18*

Dans l'article, l'auteur indique des valeurs 35 et 37 pour les isotopes stables du chlore.
Que désignent plus précisément ces valeurs pour un noyau de chlore ?
Définir le terme « isotopes ».
Donner le symbole complet du noyau de « chlore 36 » et sa composition.
Calculer, en MeV, l'énergie de liaison E_{L1} d'un noyau de « chlore 36 ». Exprimer le résultat final avec quatre chiffres significatifs. *On rappelle que 1 eV = 1,602×10^{-19} J.*
Le texte évoque la réaction de désintégration d'un noyau de « chlore 36 ».
Écrire l'équation de cette réaction, en indiquant :
- les lois utilisées ;
- le type de radioactivité mise en jeu.
Donner la définition du temps de « demi-vie » $t_{1/2}$ du « chlore 36 ».

Constante radioactive

Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité de la constante radioactive λ dans le système international.
Calculer la constante radioactive de l'isotope de « chlore 36 » en respectant l'unité de base du système international.
Une bouteille contient un volume V= 1,5 L d'eau minérale. Sa teneur en ions chlorure est indiquée sur l'étiquette et vaut c_m = 13,5 mg.L^{-1}.
Calculer la quantité d'ions chlorure, en mol, dans l'eau de cette bouteille.

On suppose que le rapport du nombre de noyaux de « chlore 36 » au nombre total de noyaux de chlore présents dans cette eau minérale est celui donné dans l'article.
Montrer que le nombre N de noyaux de « chlore 36 » présents dans cette bouteille est $N = 2,4\times10^8$.
En déduire la valeur A de l'activité en « chlore 36 » de l'eau que contient cette bouteille.
En déduire la valeur D du nombre de désintégrations de noyaux de « chlore 36 » par jour.

Datation d'une eau souterraine

L'étude des isotopes radioactifs apporte des informations concernant la durée du transit souterrain d'une eau c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique. Les ions chlorure $Cl^-_{(aq)}$ sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles et ne sont que rarement impliqués dans les interactions eaux - rochers. ***Dans les eaux de surface, le « chlore 36 » est renouvelé et la teneur en « chlore 36 » peut être supposée constante****, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines des nappes phréatiques. Le « chlore 36 », de demi-vie $3,01\times10^5$ ans, est donc un traceur particulièrement adapté à l'étude des eaux souterraines anciennes.*
Pour dater des eaux plus récentes, on peut utiliser le « carbone 14 », de demi-vie $5,73\times10^3$ ans, présent dans les ions carbonate $CO_3^{2-}{}_{(aq)}$ dissous par exemple.

Loi de décroissance radioactive.

- On considère un échantillon, de volume V donné, d'eau issue d'une nappe phréatique. On note :
  - N_0 le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans cet échantillon à l'instant de date $t_0 = 0$ s de la constitution de la nappe.
  - N(t) le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe et donc non renouvelés en « chlore 36 ».
- Écrire la loi de décroissance radioactive liant N(t), N_0 et $t_{1/2}$.

Datation d'une eau souterraine.

- On admet que N_0 est égal au nombre moyen de noyaux de «chlore 36 » présents dans un échantillon de même volume V d'eau de surface.
- Déduire de la loi de décroissance écrite précédemment l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de « chlore 36 » trouvée dans les eaux de surface.
  Pourquoi ne pas avoir utilisé le « carbone 14 » pour dater cette nappe phréatique ?

II- Propagation d'une onde

Étude sur une cuve à ondes

- On laisse tomber une goutte d'eau sur une cuve à ondes. Le fond de la cuve à ondes présente un décrochement de telle sorte que l'onde créée par la chute de la goutte d'eau se propage d'abord à la surface de l'eau dont l'épaisseur au repos est $e_1 = 3$ mm puis ensuite à la surface de l'eau dont l'épaisseur au repos est $e_2 = 1$ mm. On filme la surface de l'eau à l'aide d'une *webcam*. Le clip vidéo est effectué avec une fréquence de 24 images par seconde. Le document 1 **page 8** représente les positions du front de l'onde créée par la chute de la goutte d'eau, repérées sur les images n° 1, n° 7, n° 8 et n° 14 du clip.

Donner les définitions d'une onde transversale et d'une onde longitudinale. À quelle catégorie appartient l'onde créée par la goutte d'eau sur la cuve à ondes ?
Calculer la célérité c de cette onde pour les deux épaisseurs d'eau mentionnées dans le document 1 page 8 (annexe 1). L'échelle de ce document est 1 (1 cm représente 1 cm).
Comment varie, dans cet exemple, la célérité c de l'onde en fonction de l'épaisseur de l'eau ?

Ondes périodiques

- On installe sur la cuve à ondes un vibreur qui permet d'obtenir des ondes planes. La fréquence du vibreur a été fixée à 24 Hz. Une source lumineuse éclaire la surface de l'eau. Cette lumière traverse l'eau et est captée ensuite par la *webcam*. Le document 2 d'échelle 1 (annexe 1) représente l'onde périodique obtenue à partir d'une image du clip vidéo.

Comment appelle-t-on la distance séparant deux franges brillantes (ou sombres) successives ? Quelle relation lie cette grandeur à la célérité c de l'onde et sa période temporelle T ?
A l'aide du document 2 page 8 (annexe 1), calculer la célérité c de l'onde périodique pour les deux épaisseurs d'eau de 3 et 1 mm. Quelle est l'influence de l'épaisseur de l'eau sur la célérité de l'onde périodique ?
On utilise maintenant une cuve à ondes sans décrochement. L'épaisseur de l'eau au repos est constante. Après avoir fait varier la fréquence du vibreur, on a réalisé des photographies et on a mesuré la longueur d'onde λ pour chacun des enregistrements.
Les résultats ont été consignés dans le tableau ci-dessous.

f (Hz)	12	24	48	96
λ (m)	0,018	0,0097	0,0059	0,0036

- Calculer la célérité c de l'onde périodique pour chaque enregistrement. Comment évolue cette célérité en fonction de la fréquence de l'onde ?

Un phénomène caractéristique des ondes

Expérience sur les ondes lumineuses

- On place sur un faisceau laser une fente de dimension a = 0,08 mm. On place après la fente un écran. La distance entre la fente et l'écran est D = 3,00 m, (voir figure 1 document 3 annexe 2).
  La figure obtenue sur l'écran est représentée sur la figure 2 document 3 (annexe 2).

Comment se nomme le phénomène observé ?

L'écart angulaire θ entre le milieu de la tache centrale et la première extinction vérifie la relation : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Calculer la longueur d'onde de ce faisceau laser (on considérera que cet écart angulaire θ est faible et que donc $\theta \approx \tan\theta$ si θ est exprimé en radians).

Étude sommaire de la houle.

- La houle prend naissance sous l'effet du vent loin des côtes. Un vent de 65 $km.h^{-1}$ engendre une houle dont les vagues font 1 mètre de hauteur. Ces vagues sont espacées de 230 mètres. Une vague remplace la précédente après une durée de 12 secondes.

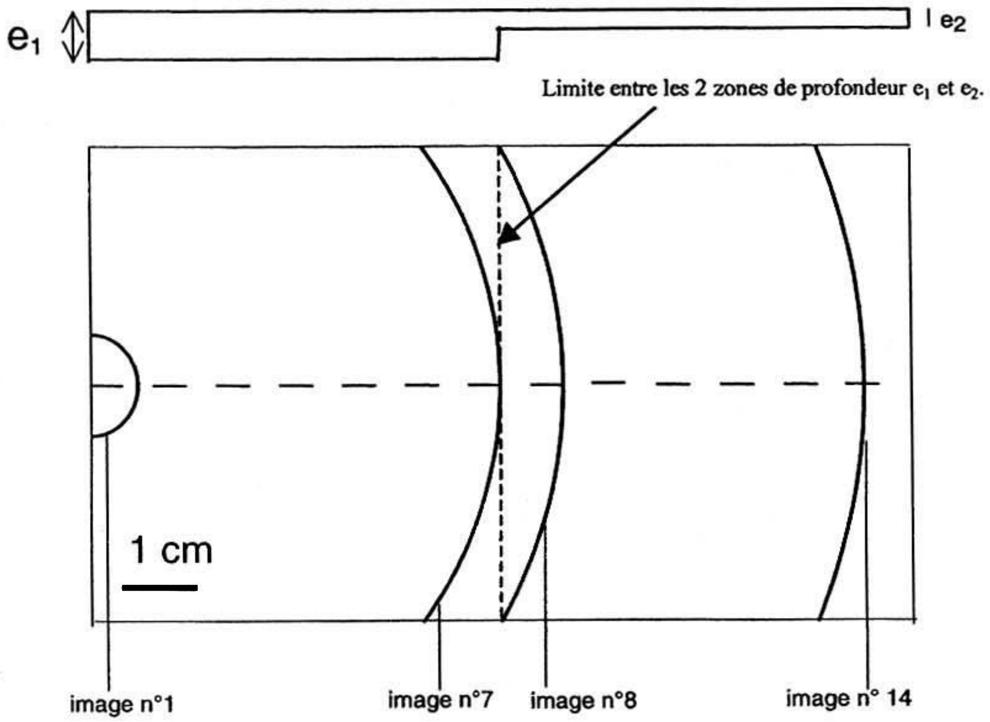
Calculer la vitesse de déplacement des vagues à la surface de l'océan.

Cette houle arrive sur un port dont l'ouverture entre deux jetées a une largeur a = 200 m. Un bateau est stationné au fond du port comme indiqué sur le schéma du document 4 page 9. Ce bateau risque-t-il de ressentir les effets de la houle ? Justifier la réponse à l'aide d'un schéma reproduit sur la copie.

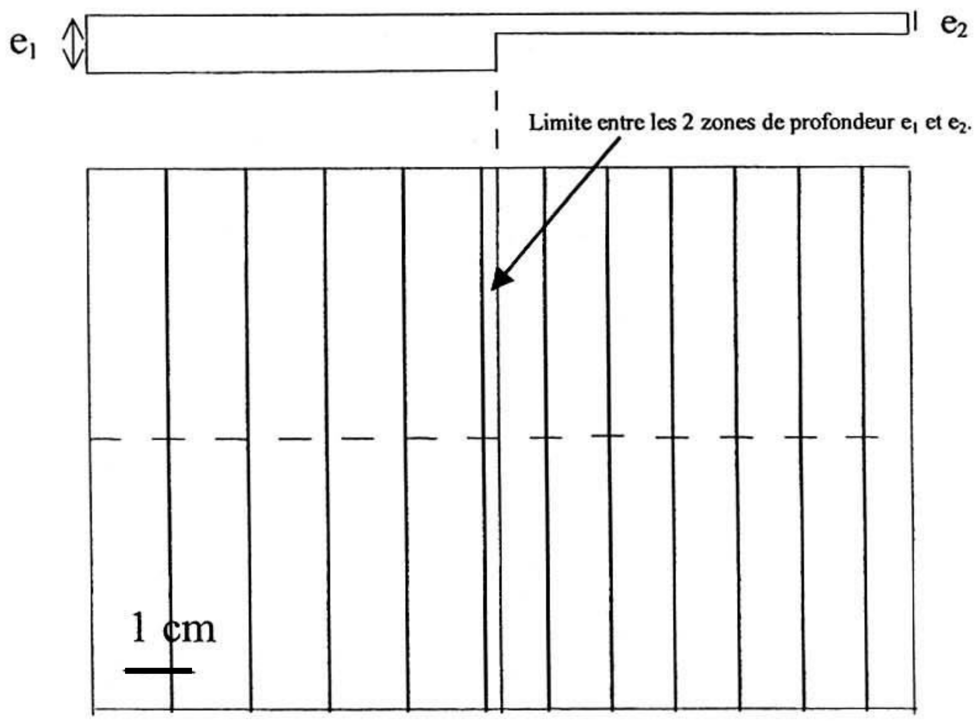
Annexe Propagation d'une onde

ANNEXE 1

Document 1



Document 2



ANNEXE 2

Document 3

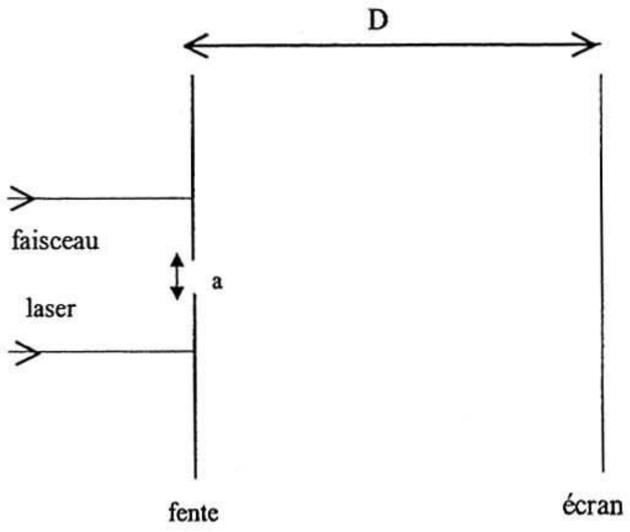


Figure 1 : schéma du dispositif

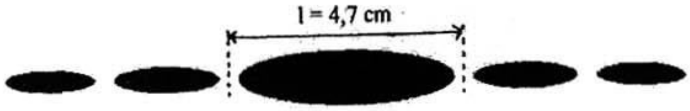
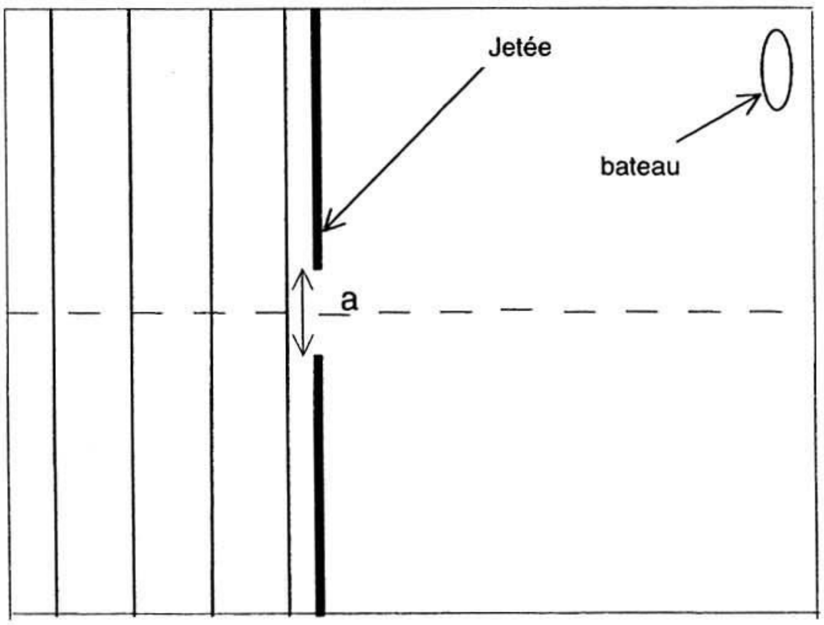


Figure 2 : Figure observée sur l'écran

Document 4



Correction

I – Du chlore dans l'eau

1. Du chlore dans les eaux souterraines

1.1. 35 et 37 représentent les nombres de masses. C'est à dire le **nombre de nucléons** (protons +neutrons) présents dans ces noyaux isotopes.

1.2. Des noyaux isotopes possèdent le **même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent**.

1.3. Le noyau ${}^{36}_{17}Cl$ contient **17 protons** et 36 – 17 = **19 neutrons**.

1.4. $\mathbf{E_{L1} = \Delta m.c^2}$ où Δm représente le défaut de masse du noyau ${}^{36}_{17}Cl$

$\mathbf{E_{L1} = [(Z\times m_P + (A-Z)\times m_n) - m_X].\ c^2}$

$E_{L1} = [17\times 1{,}67262 + 19\times 1{,}67492 - 59{,}71128] \times 10^{-27} \times (2{,}998.10^8)^2 = 0{,}54674 \times 10^{-27} \times (2{,}998.10^8)^2 = 4{,}914.10^{-11}$ J

E_{L1} (Mev) = E_{L1}(J) / $1{,}602.10^{-13}$ => $\mathbf{E_{L1} = 306{,}7}$ **MeV**

1.5. Au cours d'une transformation nucléaire, il y a conservation du nombre de charges et du nombre de nucléons.

On a ${}^{36}_{17}Cl \rightarrow {}^{36}_{18}Ar + {}^{0}_{-1}e$. Un électron est libéré au cours de cette désintégration, il s'agit de radioactivité de type β^-.

1.6. Soit N_0 le nombre de noyaux de chlore 36 , initialement présents dans un échantillon.

Au bout d'une durée de $t_{1/2} = 301\times 10^3$ ans , $N_0/2$ noyaux se seront désintégrés. L'échantillon contiendra encore $N_0/2$ noyaux de chlore 36.

1.7.1. D'après les données: $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$; $[\lambda] = \dfrac{\ln 2}{[t_{1/2}]} = \dfrac{1}{T}$, $[\lambda] = T^{-1}$ donc λ s'exprime en s^{-1}

1.7.2. $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}} = \dfrac{\ln 2}{301\times 10^3 \times 3{,}156\times 10^7}$ soit $\mathbf{\lambda = 7{,}30\times 10^{-14}\ s^{-1}}$

1.8.1. $n = \dfrac{m}{M(Cl)}$ et $c_m = \dfrac{m}{V}$ soit $m = c_m.V$ donc $n = \dfrac{c_m.V}{M(Cl)} = \dfrac{13{,}5.10^{-3}\times 1{,}5}{35{,}5}$ = $\mathbf{5{,}7\times 10^{-4}}$ **mol** d'ions chlorure dans l'eau d'un bouteille de 1,5 L

1.8.2. Soit N_T le nombre total de noyaux de chlore dans la bouteille. $N_T = n\ .\ N_A$

"*Le rapport du nombre de noyaux de Cl-36 au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de $7{,}0\times 10^{-13}$ actuellement.*"

soit $\dfrac{N}{N_T} = 7{,}0\times 10^{-13}$ donc $N = 7{,}0\times 10^{-13} \times N_T$, $N = 7{,}0\times 10^{-13} \times n \times N_A$: $\mathbf{N = 2{,}4\times 10^8}$ **noyaux**

1.8.3. $A(t) = \lambda\ .\ N(t) = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}.N(t) = \dfrac{\ln 2}{301.10^3 \times 3{,}156.10^7} \times 2{,}4\times 10^8$

$A(t) = 1{,}75.10^{-5}$ Bq ceci représente le nombre moyen de désintégrations de noyaux de chlore par seconde.

1.8.4. Soit D le nombre de désintégrations de noyaux de « chlore 36 » par jour:

D = A(t)× 24 × 3600 , **D = 1,5** *Ce nombre peut ne pas être entier puisqu'il s'agit d'une moyenne.*

(autre méthode possible $D = n = \lambda.\Delta t.N(t) = 7{,}30\times 10^{-14}\times 24\times 3600\times 2{,}4\times 10^8 = 1{,}5$)

On a considéré que pour une durée de 24h, l'activité de l'eau de la bouteille est restée la même. Ce qui est convenable, puisque sur $2{,}4\times10^{8}$ noyaux présents à t = 0s, seul en moyenne 1,5 noyau se désintègre en 24h.

1.9. Datation d'une eau souterraine

1.9.1. $N(t) = N_0 \,.\, e^{-\lambda.t} = N_0 .\, e^{-\frac{(\ln 2).t}{t_{1/2}}}$

1.9.2. $N(t) = \dfrac{38}{100} N_0$ donc $\dfrac{N(t)}{N_0} = 0{,}38$

$$e^{-\frac{(\ln 2).t}{t_{1/2}}} = \frac{N(t)}{N_0} \text{ soit } -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}.t = \ln\frac{N(t)}{N_0} \text{ et donc } t = -\ln\frac{N(t)}{N_0}.\frac{t_{1/2}}{\ln 2} = -\ln(0{,}38)\times\frac{301\times10^{3}}{\ln 2} = \mathbf{4{,}2\times10^{5}\ ans}$$

Le carbone 14 possède une demi-vie plus courte que le chlore 36. L'eau étant très ancienne, on peut penser qu'elle ne contiendrait plus assez de carbone 14 pour que celui-ci soit détecté de manière satisfaisante.

<u>II – Propagation d'une onde</u>

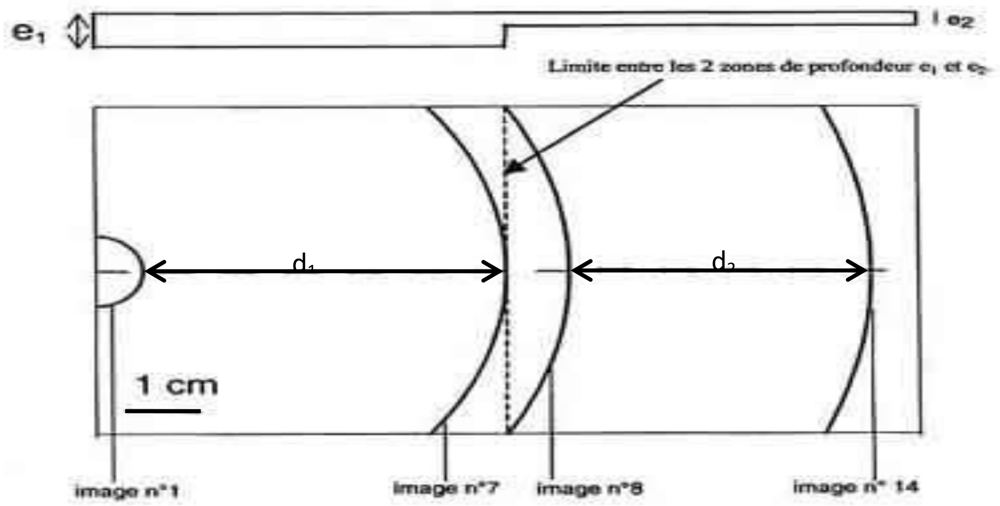
1. Étude sur une cuve à ondes

1.1. On appelle **onde mécanique** le phénomène de propagation d'une **perturbation** dans un milieu sans **transport de matière.** Il existe deux types d'ondes :

- ondes transversales : la direction de la déformation du milieu est perpendiculaire à celle de sa propagation.
- ondes longitudinales : la direction de la déformation est parallèle à celle de sa propagation.

L'onde créée par la goutte d'eau appartient à la catégorie des **ondes transversales**.

1.2.



Entre deux images consécutives, il s'écoule une durée τ de 1/24 s.

Pour la zone de profondeur e_1 : Entre l'image n°1 et l'image n° 7, il s'est écoulé une durée $\Delta t_1 = \mathbf{6}\tau$.

Pendant cette durée, le front d'onde a progressé d'une distance d_1 = 4,8 cm or $c_1 = \dfrac{d_1}{\Delta t_1} = \dfrac{4{,}8}{6\times\frac{1}{24}} = \mathbf{19\ cm.s^{-1}}$

Pour la zone de profondeur e_2 : on mesure d_2 = 4,0 cm, il s'est écoulé $\Delta t_2 = 6\tau$. $c_2 = \dfrac{d_2}{\Delta t_2} = \dfrac{4{,}0}{6\times\frac{1}{24}} = \mathbf{16\ cm.s^{-1}}$

1.3. Lorsque l'épaisseur d'eau diminue alors la célérité de l'onde diminue.

2. Ondes périodiques

2.1. La distance séparant deux franges brillantes successives est appelée la **longueur d'onde**, notée λ. **λ = c.T**

2.2. $\lambda = \frac{c}{f}$ où f est la fréquence du vibreur, donc **c = λ.f**.

On mesure λ sur le document 2 pour chaque zone d'épaisseur différente.

Pour la zone d'épaisseur d'eau e_1 : $4\lambda_1$ = 4,2 cm, donc $c_1 = \frac{4,2}{4} \times 24$ = **25 cm.s^{-1}**

Pour la zone d'épaisseur d'eau e_2 : $5\lambda_2$ = 4,2 cm, donc $c_2 = \frac{4,2}{5} \times 24$ = **20 cm.s^{-1}**

On arrive à la même conclusion qu'au I.3., lorsque l'épaisseur d'eau diminue alors la célérité de l'onde diminue.

2.3.

f (Hz)	12	24	48	96
λ (m)	0,018	0,0097	0,0059	0,0036
c = λ.f (en m.s^{-1})	0,22	0,23	0,28	0,35

La célérité de l'onde augmente lorsque la fréquence de l'onde augmente.

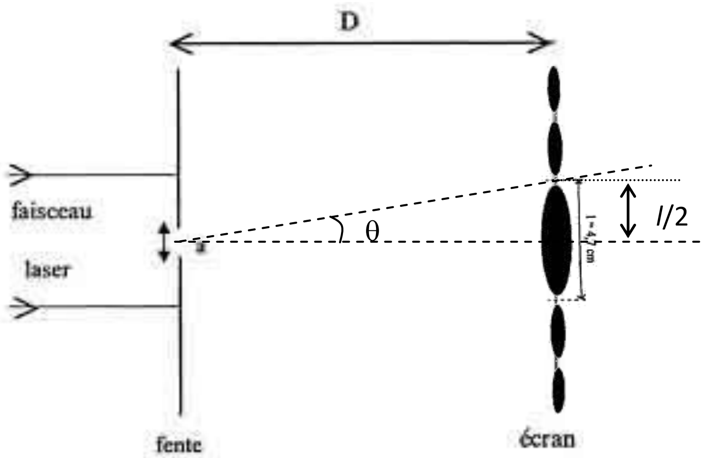
3. Un phénomène caractéristique des ondes.

3.1. Expérience sur les ondes lumineuses

3.1.1. Il se produit un phénomène appelé diffraction de la lumière.

3.1.2. $\tan\theta = \frac{l/2}{D} = \frac{l}{2D}$,

comme θ est faible et exprimé en radians, $\tan\theta \approx \theta$



$\theta = \frac{l}{2D}$

D'autre part $\theta = \frac{\lambda}{a}$, donc

$\frac{\lambda}{a} = \frac{l}{2D}$

soit $\lambda = \frac{l.a}{2D}$

$\lambda = \frac{4,7\times10^{-2}\times0,08\times10^{-3}}{2\times3,00}$ *(tout à convertir en m)*

λ = 6×10^{-7} m *ne pas conserver trop de chiffres significatifs car a est donné avec peu de précision*

3.2. Étude sommaire de la houle

3.2.1. λ = 230 m et T = 12 s λ = v.T donc $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{230}{12}$ **= 19 m.s^{-1}**

3.2.2. $\theta = \frac{\lambda}{a}$ donc plus a est faible devant λ et plus l'écart angulaire θ est grand, plus la diffraction est marquée.

Ici λ > a, l'ouverture du port diffracte l'onde incidente. L’ouverture se comporte alors comme une source ponctuelle émettant des ondes dans différentes directions ce qui affectera le bateau (qui oscillera verticalement). La diffraction ne modifie pas la longueur d'onde λ.

voir figure ci-après