Cours de physique de 6^e secondaire - 2021-2022
En cours de rédaction et correction - ne pas distribuer
tout commentaire bienvenu par email à manueldephysique@educode.be

Alexandra David - Corinne Leyssen - Nicolas Pettiaux - Matteo Poncé

3 juin 2022

Table des matières

1 Énergie, travail, puissance et rendement

1.1 Travail d'une force

Lorsqu'une force $\vec{F}$ déplace un corps sur une distance $\vec{d}$, on dit que cette force effectue un travail W.

Le travail de la force $\vec{F}$ sur la distance $\vec{d}$ est définie par : $W = \vec{F} \cdot \vec{d} = Fd\cos(\theta)$

L'unité du travail est celle de l'énergie : le joule J. 1 J = 1 N.m Il s'agit donc d'une unité définie dans le Système international d'unités, le SI.

TODO insérer un schéma de produit scalaire

Quelques exemples découlent de ces définitions :

- Une force n'effectue de travail que lorsque son point d'application se déplace. Par exemple, la force musculaire d'un haltérophile effectue un travail lorsqu'il soulève une haltère mais n'en n'accomplit plus pendant qu'il la maintient à bout de bras au-dessus de la tête.
- **Le travail d'une force est une grandeur scalaire** obtenue à partir de deux grandeurs vectorielles $\vec{F}$ et $\vec{d}$.
- On parle de **travail moteur** lorsque $\alpha < 90°$ et donc $\cos(\alpha) > 0$. Le travail d'une force motrice est donc généralement positif.
- On parle de **travail résistant** lorsque $\alpha > 90°$ et donc $\cos(\alpha) < 0$. Le travail d'une force de frottement est donc généralement négatif.
- **Une force perpendiculaire au déplacement** ($\alpha = 90°$) **n'effectue aucun travail.** C'est le cas de la force centripète du mouvement circulaire. Par exemple la force gravité qui retient la Lune tournant autour de la Terre. C'est aussi le cas de la force de pesanteur lors d'un déplacement horizontal.
- Le travail fait sur un objet est l'aire sous la courbe de la force agissant sur l'objet en fonction de la position .

  TODO ajouter une graphe F(t) et $\int_a^b \vec{F} \cdots \vec{dx}$ et des explications

(Sur le schéma : (x'-x) = d)

2 Énergie

2.1 Définition

On définit **l'énergie est la capacité que possède un corps à produire un travail. Son unité le Joule (J).**

La notion d'énergie est sans doute la plus importante de la physique. TODO à expliquer

2.2 Différentes formes d'énergie :

- cinétique liée à la vitesse et à la masse d'un corps
- potentielle liée à la masse d'un corps et à la hauteur à laquelle il se trouve. (g est l'accélération de pesanteur).
- mécanique égale la somme : Ecinétique + Epotentielle
- thermique liée à la température d'un corps
- électrique liée à l'électricité
- chimique liée aux liaisons chimiques entre les atomes
- rayonnante liée aux ondes électromagnétiques : la lumière, l'infrarouge, l'ultraviolet etc.
- nucléaire liée aux liaisons des protons et neutrons dans les noyaux d'atomes
- de masse liée à la masse selon la relation d'Einstein : $E = mc^2$, la formule sans doute la plus connue de tous, mais sans doute aussi mal comprise.

3 Puissance

En physique, la puissance reflète la vitesse à laquelle un travail est fourni.

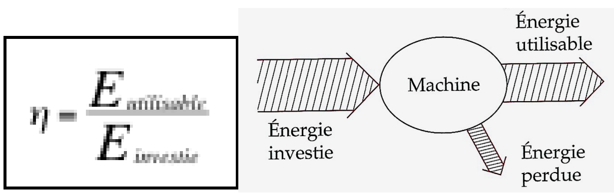
Définition : C'est la quantité d'énergie fournie par unité de temps.

Son unité est le watt (w) (Remarque : ne confondez pas le travail (W) et le watt (w).

La puissance est une grandeur scalaire.

La puissance correspond donc à un débit d'énergie : si deux systèmes de puissances différentes fournissent **le même** travail, **le plus puissant des deux est celui qui est le plus rapide.**

4 Rendement



L'énergie utilisable est la part de l'énergie finale **réellement exploitée** pour satisfaire le besoin de l'usager.

Ce rapport est toujours inférieur à 1 (100 %).

Un rendement de 100% signifie qu'il n'y a aucune perte d'énergie.

5 Des ordres de grandeur

La liste ci-dessous reprend des ordres de grandeur d'énergie à connaître. ' L'énergie de

- un photon dans le domaine visible 10^{-19} J
- un électron dans un tube TV 10^{-15} J
- une pomme en chute libre 1 J
- une balle de tennis 10^{2} J
- une balle de fusil 10^{4} J
- chauffage de l'eau d'un bain 10^{7} J
- travail journalier d'un homme 10^{7} J
- une bombe d'une tonne de TNT 10^{10} J
- un éclair (de la foudre) 10^{10} J
- consommée quotidiennement en Suisse 10^{14} J
- une bombe H (100 mégatonnes) 10^{18} J
- une éruption solaire 10^{24} J
- d'une explosion de supernova 10^{40} J

La puissance est l'énergie produite ou dissipée par unité de temps, $P = \frac{E}{\Delta t}$. L'unité du SI de puissance est le Watt, W.

TODO rajouter biographie de Watt et origine du WATT.

Quelques ordres de grandeur de puissances sont importantes à connaître :

- dégagée par un corps humain au repos 70 à 100 w
- consommée par un récepteur TV 100 w
- consommée par un vélomoteur de 50 cm3 900 w
- consommée par un brûleur butane 900 w
- consommée par un sèche-cheveux 1000 à 1300 w
- consommée par une plaque électrique 1,5 kw
- dégagée par un corps humain en activité 300 à 2000 w
- consommée par séchoir à linge 5.10^{3} w à 8.10^{3} w
- consommée par une voiture de tourisme (1400 cm^{3}) 40 kw
- consommée par une locomotive électrique 5 Mw
- dégagée par une centrale nucléaire (Doel) 3000 Mw

6 Exercices

Exercice 1

Une voiture de 1,2 tonne et d'une puissance de 3000 watts atteint une vitesse de 21,6 km/h en 10 secondes sur une route horizontale.

1. Quelle est l'énergie consommée ?
2. Quel sera le rendement ?

Exercice 2

1. Quelle est l'énergie cinétique d'une voiture d'une tonne roulant à 72 km/h ?
2. Quel travail faut-il effectuer pour arrêter cette voiture ?

Exercice 3

Quelle est l'énergie consommée si on fournit une puissance de 2000 watts pendant une minute ?

Exercice 4

1. Quelle est l'énergie potentielle d'un plongeur de 75 kg sur le plongeoir des 10 mètres ?
2. En négligeant les frottements, quelle est son énergie cinétique à l'arrivée dans l'eau ?
3. En négligeant le frottement, quelle est sa vitesse en arrivant dans l'eau, 10 mètres plus bas ?
4. En négligeant le frottement, quelle est son énergie mécanique sur le plongeoir et à l'arrivée dans l'eau ?

Exercice 5

Une force de 12 N tire un chariot placé sur des rails. L'angle entre la force et le sens des rails (et donc du déplacement) est de 30°. Quel est le travail accompli si le chariot se déplace de 14m ?

Exercice 6

Un haltérophile peut arracher du sol une masse de 183 kg et le soulever à une hauteur de 2,1 m en 2 secondes. Quelle est la puissance développée ?

Exercice 7

Un wagon a une masse de 20 tonnes.

1. Quelle force motrice faut-il lui appliquer pour qu'il atteigne une vitesse de 54 km/h au bout de 5minutes ?
2. Quel sera le déplacement correspondant ?
3. Quelle est la puissance du moteur ?

7 Résolutions

EXERCICES

Exercice 1

Une voiture de 1,2 tonne et d'une puissance de 3000 watts atteint une vitesse de 21,6 km/h en 10 secondes sur une route horizontale.

a) Quelle est l'énergie consommée ?

$m = 1{,}2 \cdot 10^3\ kg$
$P = 3 \cdot 10^3\ W$
$V_0 = 0$
$V = 21{,}6\ \frac{km}{h} = 6\ \frac{m}{s}$
$t = 10\ s$

W ?
$W = P \cdot t = 3 \cdot 10^3 \cdot 10 = 30 \cdot 10^3\ J = 30\ kJ$
$\boxed{W = 30\ kJ}$

b) Quel sera le rendement ?

$\boxed{\eta = \frac{\text{Énergie utile}}{\text{Énergie consommée}}}$

or l'Énergie consommée $= 30\,000\ J$
Énergie utile ?

Énergie utile (W_{utile}) $= \Delta E_c = \frac{mV^2}{2} - 0 = \frac{1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6^2}{2} = 21\,600\ J$

$\Rightarrow \eta = \frac{21\,600}{30\,000} = 0{,}72 = \boxed{72\ \% = \eta}$

Exercice 2

a) Quelle est l'énergie cinétique d'une voiture d'une tonne roulant à 72 km/h ?

$E_c = \frac{mV^2}{2} = \frac{10^3 \cdot 20^2}{2} = 200\,000\ J = \boxed{200\ kJ = E_c}$

$m = 10^3\ kg$
$V = 72\ \frac{km}{h} = 20\ \frac{m}{s}$

b) Quel travail faut-il effectuer pour arrêter cette voiture ?

$V = 20\ m/s$ $V = 0$
$E_c = 200\ kJ$

$\Rightarrow$ l'énergie nécessaire pour arrêter la voiture sera de 200 kJ
$\boxed{E = 200\ kJ}$

Exercice 3

Quelle est l'énergie consommée si on fournit une puissance de 2000 watts pendant une minute ?

$P = 2 \cdot 10^3\ W$
$t = 1\ min = 60\ s$
W ?

$W = P \cdot t = 2 \cdot 10^3 \cdot 60 = 120\,000\ J$
$\boxed{W = 120\ kJ}$

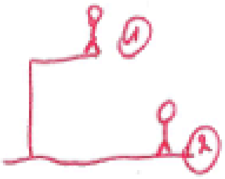
Exercice 4

a) Quelle est l'énergie potentielle d'un plongeur de 75 kg sur le plongeoir des 10 mètres ?

$m = 75\ kg$
$h = 10\ m$

$E_p = mgh = 75 \cdot 9{,}81 \cdot 10 = \boxed{7357{,}5\ J = E_p}$

b) En négligeant les frottements, quelle est son énergie cinétique à l'arrivée dans l'eau ?



Principe de conservation d'Energie.

$E_1 = E_2$

$\Rightarrow E_2 = E_c = \boxed{7357{,}5 J = E_c}$

c) En négligeant le frottement, quelle est sa vitesse en arrivant dans l'eau, 10 mètres plus bas ?

$E_c = \frac{mV^2}{2} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2 \cdot E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7357{,}5}{75}} = 14\ \frac{m}{s}$

$V = 14\ \frac{m}{s} = 50\ \frac{km}{h}$

d) En négligeant le frottement, quelle est son énergie mécanique sur le plongeoir et à l'arrivée dans l'eau ?

Puisque les frottements sont négligés et qu'il n'y a pas de forces motrices, $E_1 = E_2$

Exercice 5

Une force de 12 N tire un chariot placé sur des rails. L'angle entre la force et le sens des rails (et donc du déplacement) est de 30°. Quel est le travail accompli si le chariot se déplace de 14m ?

$F = 12N$
$\alpha = 30°$
$d = 14 m$
W ?

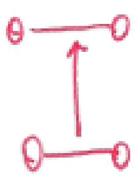
$W = F \cdot d \cdot \cos\alpha = 12 \cdot 14 \cdot \cos 30° = 145{,}5\ J$

$\boxed{W = 145{,}5 J}$

Exercice 6

Un haltérophile peut arracher du sol un masse de 183 kg et le soulever à une hauteur de 2,1 m en 2 secondes. Quelle est la puissance développée ?

Ep



P ? $P = \frac{W}{t}$

$\Rightarrow$ L'haltérophile communique à la masse une énergie égale à l'énergie potentielle

$E_p = mgh = 183 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}1 = 3770 J = W$

$P = \frac{W}{t} = \frac{3770}{2} = \boxed{1885 W = P}$

Exercice 7

Un wagon a une masse de 20 tonnes.

a) Quelle force motrice faut-il lui appliquer pour qu'il atteigne une vitesse de 54 km/h au bout de 5minutes ?

$V_0 = 0$

$V = 54\ km/h = 15\ \frac{m}{s}$

$t = 5\ min = 300\ s$

On néglige les frottements

$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow F = ma$ a ? F ?

$a = \frac{V - V_0}{t} = \frac{15-0}{300} = 0{,}05\ \frac{m}{s^2}$

$F = ma = 20.10^3.\ 0{,}05 = \boxed{10^3 N = F}$

b) Quel sera le déplacement correspondant ?

$d = V_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{0{,}05.\ 300^2}{2} = \boxed{2250\ m = d}$

c) Quelle est la puissance du moteur ?

$P = \frac{W}{t} = \frac{F.d}{t} = \frac{10^3.\ 2250}{300} = \boxed{7{,}5.10^3\ W = P}$

8 Énergie de l'oscillateur harmonique

8.1 Vidéos à regarder

1. Bilan énergétique de l'oscillateur horizontal
2. Énergie d'un oscillateur masse-ressort horizontal

8.2 Différentes formes d'énergie d'un oscillateur harmonique

1. Energie cinétique (due à la vitesse) : $E = \frac{1}{2}mv^2$
2. Energie potentielle gravifique (due à la hauteur) : $E = mgh$
3. Energie potentielle élastique (due à la compression ou dilatation d'un ressort) $E = \frac{1}{2}ky^2$

8.3 Energie totale d'un oscillateur harmonique

L'énergie totale mécanique d'un oscillateur harmonique est la somme des énergies cinétique et potentielle (gravifique pour un pendule simple et élastique pour un ressort horizontal).

Dans le cas où les frottements sont négligés, l'énergie totale reste constante (principe de conservation d'énergie).

Exprimons mathématiquement ce principe en répondant à la question :

En toute généralité, quelle est l'énergie totale d'un oscillateur harmonique (que ce soit un pendule simple ou un pendule élastique) ?

Lorsqu'un oscillateur harmonique est à une position extrême (+A ou -A), l'énergie cinétique est nulle et l'énergie potentielle maximale (énergie potentielle gravifique pour un pendule simple et énergie potentielle élastique pour un ressort horizontal).

De même, pour un oscillateur harmonique (quel qu'il soit), lorsque la vitesse est maximale, l'énergie potentielle est nulle (énergie potentielle gravifique pour un pendule simple et énergie potentielle élastique pour un ressort horizontal). L'énergie totale de l'OH (E_T) est donc égale à $E = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2$

Or nous savons que : $E_{\text{T}} = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2$ avec $v_{\text{max}} = A\omega$. Donc $E_{\text{T}} = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$

Or T et ω ne varient pas au cours de l'oscillation, elles sont constantes.

Notons $k = m\omega^2$ où k est une constante. On trouve $E_{\text{totale}} = \frac{1}{2}kA^2$ qui est donc l'énergie totale d'un oscillateur harmonique.

8.4 Que représente k ?

L'énergie totale d'un oscillateur harmonique est $E_{\text{T}} = \frac{1}{2}kA^2$:

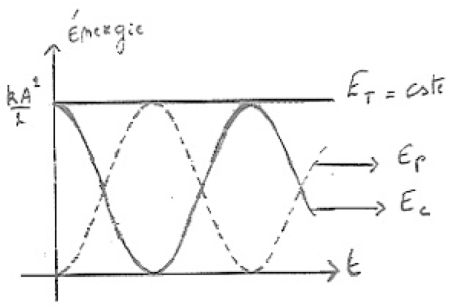
Que représente physiquement cette constante $k = m\omega^2$?

Pour un pendule élastique (un ressort)

k est la constante de raideur du ressort $F = kx$(loi de Hooke) où x étant l'allongement du ressort à l'équilibre lorsque ce dernier est soumis à une force de traction (ou de compression) F.

Pour un pendule simple $k = m\omega^2$ $\omega = 2\frac{\pi}{T}$ et $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$. Don $\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} = 4\pi^2\frac{1}{4\pi^2}\frac{g}{L} = \frac{g}{L}$ et $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ où L est longueur du pendule et m, sa masse.

8.5 Évolution au cours du temps des énergies cinétique, potentielle et totale.



On remarque que lorsque l'énergie cinétique est maximale alors l'énergie potentielle est nulle et vice versa. Il y a constamment conversion de l'énergie cinétique en potentielle et vice versa, de telle sorte que l'énergie totale reste constante.

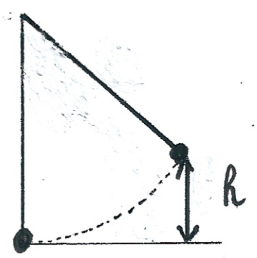
Variation de l'énergie cinétique $E_c(t) = \frac{1}{2}mv(t) = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \phi)$

Variation de l'énergie potentielle $E_p(t) = \frac{1}{2}ky^2 = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \phi)$

L'énergie totale reste constante. Elle est égale à la somme des énergies cinétique et potentielle.

$$E_c(t) + E_p(t) = E_t = \text{constante}$$

8.6 Énergie d'un oscillateur harmonique - exercices



8.6.1 Exercice 1

Un pendule simple de longueur égale à 40 cm et d'une masse de 50 g est lâché lorsqu'il fait un angle de 10° avec la verticale.

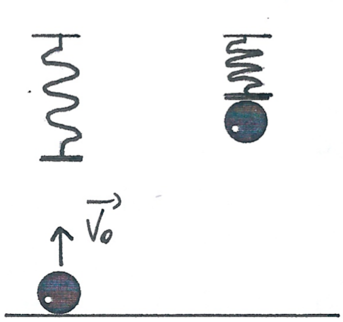
1. Calculez son énergie potentielle maximale.
2. Calculez sa vitesse maximale.
3. Calculez sa vitesse à mi-hauteur.
4. Quelle est son énergie totale ?

8.6.2 Exercice 2

Pour lancer une boule (masse 50 g) de « flipper », on comprime de 10 cm un ressort d'une constante de raideur égale à 200 N/m. Quelle sera la vitesse de la boule lorsqu'elle aborde le virage au bout d'une course rectiligne de 1,5 m après qu'elle ait quitté le ressort. Négligez tout frottement !

1. si le flipper est horizontal ?
2. s'il fait un angle de 5° avec l'horizontale ?

8.6.3 Exercice 3



Une balle de 500g est lancée verticalement vers le haut sur un ressort de constante de raideur égale à 32 N/m et de masse négligeable. La vitesse de lancer de 2 m/s.

Le ressort se comprime de 12 cm lorsque la bille atteint sa hauteur maximale.

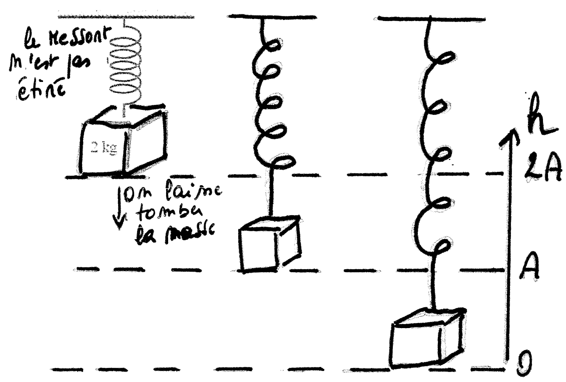
Quelle est la hauteur atteinte par la bille ?

8.6.4 Exercice 4

Un fusil de fléchettes comprend un ressort de raideur k = 250 N/m, de longueur à vide l0 = 12 cm et qui, comprimé par la fléchette de masse 25 g, ne mesure plus que l = 4,0 cm.

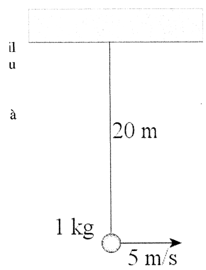
1. Avec quelle vitesse la fléchette sort-elle du fusil dans le cas d'un tir horizontal. Faire le calcul sans tenir compte du frottement entre fléchette et fusil.
2. Quelle altitude maximale peut-elle atteindre dans le cas d'un tir vertical ? Faire le calcul sans tenir compte du frottement entre fléchette et fusil ni de la résistance de l'air.

8.6.5 Exercice 5



La masse de 2 kg de la figure ci-contre est suspendue au plafond avec un ressort de masse négligeable et dont la constante de raideur vaut 200 N/m. Au départ, le ressort n'est pas étiré ni comprimé. On laisse alors tomber la masse sans la pousser. On aura alors un mouvement d'oscillation de la masse.

1. Quelle sera la distance parcourue par le ressort avant qu'il n'entame sa remontée verticale ?
2. Quelle sera la vitesse maximale du ressort ?



8.6.6 Exercice 6

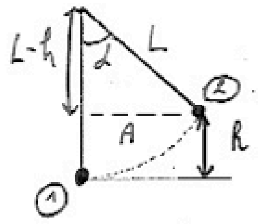
Le pendule de la figure ci-contre est en mouvement harmonique et a une vitesse de 5 m/s quand il passe par sa position d'équilibre. Quelle est la vitesse du pendule lorsqu'il fait un angle de 10° par rapport à la verticale ?

9 Résolutions

EXERCICE 1

Un pendule simple de longueur égale à 40 cm et d'une masse de 50 g est lâché lorsqu'il fait un angle de 10° avec la verticale.

a) Calculez son énergie potentielle maximale.



Il y a deux façons de procéder car l'énergie potentielle maximale est l'énergie potentielle gravifique que le pendule a en position 2 (cf. schéma)

(Remarque : dans ce problème, il n'y a pas d'énergie potentielle élastique car il n'y a pas de ressort.)

1) Ou l'énergie potentielle gravifique en 2 (que je vais noter $E_{g(2)} = mgh$

2) Ou bien $E_{g(2)} = E_T = \frac{kA^2}{2}$ (car la seule énergie que le pendule a en position 2 est de l'énergie potentielle gravifique $= E_T$ (Énergie totale))

Je vais avoir besoin de h et de A

1) h ?

$\cos\alpha = \frac{L-h}{L} \Rightarrow \boxed{h = L - L\cos\alpha}$

2) A ?

$\sin\alpha = \frac{A}{L} \Rightarrow \boxed{A = L\sin\alpha}$

[1] Calculons $E_{g(2)} = mgh$

$$E_{g(2)} = mgh = mg(L - L\cos\alpha) = 0{,}050 \cdot 9{,}81\,(0{,}4 - 0{,}4 \cdot \cos 10^\circ) \quad \begin{cases} \alpha = 10^\circ \\ L = 0{,}4\ m \\ m = 0{,}050\ kg \end{cases}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{g(2)} = 0{,}003\ J}$$

[2] Autre façon de procéder : Calculons $E_{g(2)} = E_T$ (énergie totale du pendule)

$$E_T = \underset{\overset{\shortparallel}{0}}{E_C} + E_g + E_{El}\ (= 0 \text{ car il n'y a pas de ressort})$$

0 (car en 2, v = 0)

$$\text{Or } E_T = \frac{kA^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \quad \text{et} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\Rightarrow E_T = \frac{m \cdot 4\pi^2 A^2}{2T^2} \quad \text{avec } T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2\frac{L}{g} \Rightarrow \frac{1}{T^2} = \frac{g}{4\pi^2 L}$$

$$\Rightarrow E_T = \frac{m \cdot 4\pi^2 \cdot A^2}{2} \cdot \frac{g}{4\pi^2 L} = \frac{mA^2 g}{2L} \quad \text{avec } A = L\sin\alpha$$

$$\Rightarrow E_T = \frac{mL^2\sin^2\alpha \cdot g}{2L} = \frac{mL\sin^2\alpha \cdot g}{2} = \frac{0{,}050 \cdot 0{,}4 \cdot (\sin 10^\circ)^2 \cdot 9{,}81}{2}$$

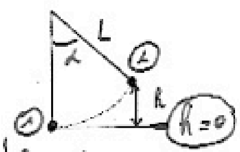
$\Rightarrow \boxed{E_T = 0{,}003\ J}$:-) On obtient bien la même valeur qu'en [1] (mais le chemin était moins rapide...)

Remarque : ne vous affolez pas ... la résolution de cet exercice prend 3 lignes (cf [1]). J'ai pris une page à vous expliquer puisque je ne sais pas le faire de vive voix. Mais c'est un bel exercice, vous ne trouvez pas ? :-)

Exercice 1 (suite)

b) Calculez sa vitesse maximale.

V_{max} ?



Rappel :
$h = L - L\cos\alpha$
$A = L\sin\alpha$

Il y a de nouveau deux façons de procéder. Soit par le principe de conservation d'énergie $\boxed{1}$, soit avec les équations de la cinématique de l'OH $\boxed{2}$

$\boxed{1}$ Principe de conservation d'énergie

$$E_{T(1)} = E_c + E_g + E_{él} = \frac{m V_{max}^2}{2} + 0 + 0$$

car en (1) la vitesse est max ; car $h = 0$ en (1) ; car il n'y a pas de ressort

$$\Rightarrow E_{T(1)} = \frac{m V_{max}^2}{2}$$

$$E_{T(2)} = E_c + E_g + E_{él} = 0 + mgh + 0$$

car $V = 0$ en (2) ; car il n'y a pas de ressort

$$\Rightarrow E_{T(2)} = mgh$$

Et par le principe de conservation d'énergie : $E_{T(1)} = E_{T(2)}$

$$\Rightarrow \frac{\cancel{m} V_{max}^2}{2} = \cancel{m}gh \Rightarrow V_{max} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot g(L - L\cos\alpha)}$$

$$\Rightarrow V_{max} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81\,(0{,}4 - 0{,}4 \cdot \cos 10^\circ)} = \boxed{0{,}34\ m/s = V_{max}}$$

$\boxed{2}$ V_{max} ? $V_{max} = A\omega = A\frac{2\pi}{T}$; $A = L\sin\alpha$; $\frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$

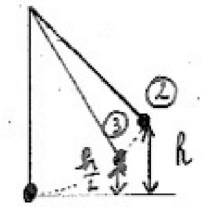
$$\Rightarrow V_{max} = L \cdot \sin\alpha \cdot \cancel{2\pi} \cdot \frac{1}{\cancel{2\pi}}\sqrt{\frac{g}{L}}$$

$$= L\sin\alpha\sqrt{\frac{g}{L}} = \sin\alpha \cdot \sqrt{\frac{L^2 g}{L}} = \sin\alpha\sqrt{L \cdot g}$$

$$\Rightarrow V_{max} = \sin 10^\circ \sqrt{0{,}4 \cdot 9{,}81} = \boxed{0{,}34\ \frac{m}{s} = V_{max}}$$

Exercice 1 (suite)

c) Calculez sa vitesse à mi-hauteur.



Principe de conservation d'Energie

$E_{T②} = E_{T③}$ V_3 ?

a) $E_{T②} = E_c + E_g + E_{EP} = 0 + mgh + 0$

$E_{T②} = mgh$

b) $E_{T③} = E_c + E_g + E_{EP} = \frac{mV_3^2}{2} + mg\frac{h}{2} + 0$

à mi-hauteur

$E_{T②} = E_{T③} \Rightarrow \cancel{m}gh = \frac{\cancel{m}V_3^2}{2} + \cancel{m}g\frac{h}{2} \Rightarrow \frac{V_3^2}{2} = gh - g\frac{h}{2} = \frac{2gh - gh}{2}$

$\Rightarrow \frac{V_3^2}{2} = \frac{gh}{2} \Rightarrow V_3 = \sqrt{gh} = \sqrt{g(L - L\cos\alpha)} = \sqrt{9{,}81(0{,}4 - 0{,}4.\cos 10°)}$

$\Rightarrow \boxed{V_3 = 0{,}24 \frac{m}{s}}$

Remarquez que la vitesse à mi-hauteur n'est <u>pas</u> égale à la moitié de la vitesse max. (Normal, le problème n'est pas linéaire mais harmonique).

d) Quelle est son énergie totale ?

$\boxed{E_T = \frac{kA^2}{2}}$ avec $\boxed{k = m\omega^2}$ $\boxed{E_T = 0{,}003\ J}$ (cf a) [2])

ou

$E_T = \frac{mV_{max}^2}{2} = \frac{0{,}050 . 0{,}34^2}{2} = \boxed{0{,}003\ J = E_T}$

ou

$E_T = mgh = \boxed{0{,}003\ J = E_T}$ (cf. a) [1])

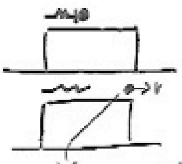
EXERCICE 2

Pour lancer une boule (masse 50 g) de « flipper », on comprime de 10 cm un ressort d'une constante de raideur égale à 200 N/m. Quelle sera la vitesse de la boule lorsqu'elle aborde le virage au bout d'une course rectiligne de 1,5 m après qu'elle ait quitté le ressort. Négligez tout frottement !

$m = 0{,}050\ kg$
$y = 0{,}1\ m$
$k = 200\ N/m$
$v\ ?$
$d = 1{,}5\ m$

a) si le flipper est horizontal ? $V\ ?$

le ressort est comprimé d'une distance y $\Rightarrow$ il contient de l'énergie potentielle élastique $E_e = \frac{ky^2}{2}$



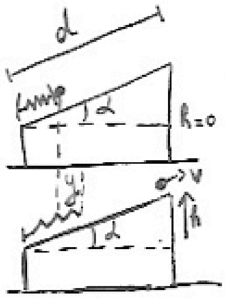
$E_T = \frac{ky^2}{2}$ $\quad \frac{ky^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{ky^2}{m}}$

$E_T = \frac{mv^2}{2}$ $\quad \Rightarrow V = \sqrt{\frac{200.10^{-2}}{50.10^{-3}}} = 6{,}3\ m/s$

$\boxed{V = 6{,}3\ \frac{m}{s}}$

l'énergie élastique du ressort comprimé s'est convertie en énergie cinétique de la balle

b) s'il fait un angle de 5° avec l'horizontale ? $\alpha = 5°$ $\quad V\ ?$



$E_T = \frac{ky^2}{2}$ (La seule énergie est l'énergie élastique emmagasinée dans la compression du ressort)

$E_T = \frac{mV^2}{2} + mgh$ (La balle a de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle gravifique)

$\Rightarrow \frac{ky^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh$ $\quad v\ ?\ h\ ?$ $\quad \sin\alpha = \frac{h}{d}$ $\Rightarrow h = d \sin\alpha$

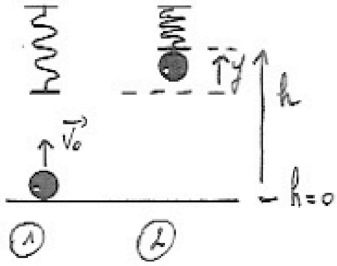
$\boxed{V = 6{,}12\ \frac{m}{s}\ (22\ \frac{km}{h})}$

$\Rightarrow \frac{mV^2}{2} = \frac{ky^2}{2} - mgh \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{ky^2}{2} - mgh\right)} = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{ky^2}{2} - mgd\sin\alpha\right)}$

$\Rightarrow V = \sqrt{\frac{2\left(\frac{200.10^{-2}}{2} - 50.10^{-3}.9{,}81.1{,}5.\sin 5°\right)}{50.10^{-3}}} = 6{,}12\ \frac{m}{s}$

EXERCICE 3

Une balle de 500g est lancée verticalement vers le haut sur un ressort de constante de raideur égale à 32 N/m et de masse négligeable. La vitesse de lancer de 2 m/s.
Le ressort se comprime de 12 cm lorsque la bille atteint sa hauteur maximale.
Quelle est la hauteur atteinte par la bille ?



$m = 0,5\,kg$

$k = 32\,\frac{N}{m}$

$V_0 = 2\,m/s$

$y = 0,12\,m$ ⇒ distance de compression du ressort

h ?

$E_{T1} = E_{T2}$ ⇒ Principe de conservation d'Énergie

1) $E_{T1} = E_c + E_g + E_{EP}$

$= \frac{mV_0^2}{2} + 0 + 0$ (la seule énergie est l'énergie cinétique de la balle)

2) $E_{T2} = E_c + E_g + E_{EP}$

$= 0 + mgh + \frac{ky^2}{2}$ ⇒ un ressort est comprimé

$V_{balle} = 0$

Énergie gravifique de la balle

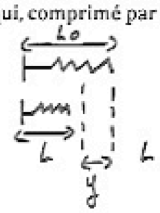
$\Rightarrow \frac{mV_0^2}{2} = mgh + \frac{ky^2}{2}$ (car $E_{T1} = E_{T2}$) $\boxed{h = 15,7\,cm}$

$\Rightarrow h = \left(\frac{mV_0^2}{2} - \frac{ky^2}{2}\right) \cdot \frac{1}{mg}$

$\Rightarrow h = \left(\frac{0,5 \cdot 2^2}{2} - \frac{32 \cdot 0,12^2}{2}\right) \cdot \frac{1}{0,5 \cdot 9,81} = 0,157\,m$

EXERCICE 4

Un fusil de fléchettes comprend un ressort de raideur k = 250 N/m, de longueur à vide l_0 = 12 cm et qui, comprimé par la fléchette de masse 25 g, ne mesure plus que l = 4.0 cm.

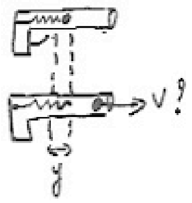


$L_0 = 12\,cm$, $L = 4\,cm$ $\Rightarrow y = 8\,cm = 0{,}08\,m$

$m = 25 \cdot 10^{-3}\,kg$

$k = 250\,\frac{N}{m}$

a) Avec quelle vitesse la fléchette sort-elle du fusil dans le cas d'un tir horizontal. Faire le calcul sans tenir compte du frottement entre fléchette et fusil.



$\Rightarrow E_T = \frac{ky^2}{2}$

$\Rightarrow E_T = \frac{mv^2}{2}$

$\frac{ky^2}{\cancel{2}} = \frac{mv^2}{\cancel{2}}$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{ky^2}{m}}$

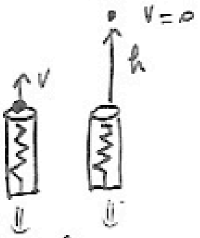
$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{250 \cdot 0{,}08^2}{25 \cdot 10^{-3}}} = 8\,\frac{m}{s}$

$\left(\cong 30\,\frac{km}{h}\right)$

$$\boxed{v = 8\,\frac{m}{s}}$$

b) Quelle altitude maximale peut-elle atteindre dans le cas d'un tir vertical ? Faire le calcul sans tenir compte du frottement entre fléchette et fusil ni de la résistance de l'air.

Le ressort n'est plus comprimé.

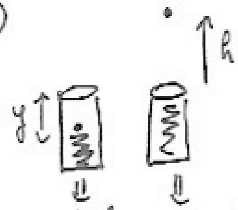


$E_T = \frac{mv^2}{2}$ $E_T = mgh$

$\Rightarrow \frac{\cancel{m}v^2}{2} = \cancel{m}gh$

$\Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{64}{2 \cdot 9{,}81} = 3{,}3\,m$

OU



$E_T = \frac{ky^2}{2}$ $E_T = mgh$

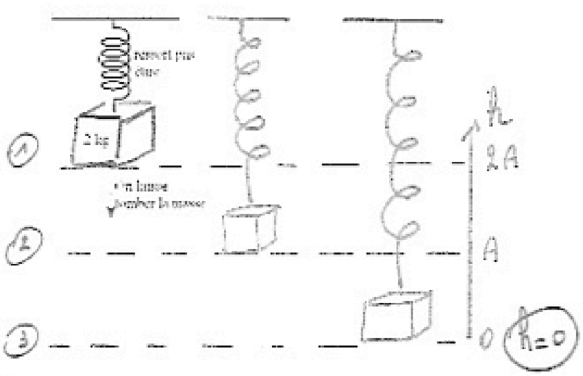
$\Rightarrow \frac{ky^2}{2} = mgh \Rightarrow h = \frac{ky^2}{2mg}$

$\Rightarrow h = \frac{250 \cdot 0{,}08^2}{2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}81} = 3{,}3\,m$

$$\boxed{h = 3{,}3\,m}$$

QUESTION 5

La masse de 2 kg de la figure est suspendue au plafond avec un ressort donc la constante vaut 200 N/m. Au départ, le ressort n'est pas étiré ni comprimé. On laisse alors tomber la masse sans la pousser. On aura alors un mouvement d'oscillation de la masse.



a) Quelle sera la distance parcourue par le ressort avant qu'il n'entame sa remontée verticale ?

$E_{T(1)} = mg2A$

$E_{T(3)} = \frac{k(2A)^2}{2}$

$\Rightarrow mg2A = \frac{k4A^2}{2} = k2A^2$

$\Rightarrow mg = kA \Rightarrow A = \frac{mg}{k} = \frac{2 \cdot 9{,}81}{200}$

$\Rightarrow A = 0{,}098\,m$

$\Rightarrow$ distance parcourue $= 2A = 0{,}1962\,m$

$\boxed{2A = 0{,}1962\,m}$

Cette méthode est bien plus rapide... ⊙⊙

b) Quelle sera la vitesse maximale du ressort ?

$E_{T(2)} = E_{T(1)} \Rightarrow \frac{mV_{max}^2}{2} + mgA + \frac{kA^2}{2} = mg2A$

$\Rightarrow \frac{mV_{max}^2}{2} = mg2A - mgA - \frac{kA^2}{2}$

$\Rightarrow V_{max}^2 = \left(mgA - \frac{kA^2}{2}\right)\frac{2}{m}$

$V_{max} = \sqrt{2gA - \frac{kA^2}{m}}$

$V_{max} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}098 - \frac{200 \cdot (0{,}098)^2}{2}} = 0{,}98\,\frac{m}{s}$

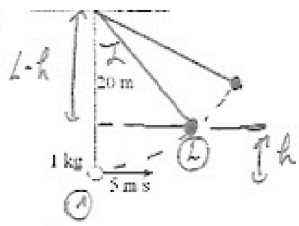
ou $V_{max} = A\omega = 0{,}098 \cdot \frac{2\pi}{0{,}6283}$

$V_{max} = 0{,}98\,m/s$

$\boxed{V_{max} = 0{,}98\,\frac{m}{s}}$

QUESTION 6

Le pendule de la figure ci-contre a une vitesse de 5 m/s quand il est à sa position d'équilibre. Quelle est la vitesse du pendule lorsqu'il fait un angle de 10° par rapport à la verticale ?



$\alpha = 10°$

⚠ en ②

$V \neq 0$ (il n'a pas atteint sa hauteur max)

$E_{T1} = \frac{mV^2_{max}}{2}$

$E_{T1} = mgh + \frac{mV^2}{2}$

$\Rightarrow h\ ?$ $\Rightarrow \cos\alpha = \frac{L-h}{L} \Rightarrow L\cos\alpha = L-h$

$\Rightarrow h = L - L\cos\alpha = 20 - 20\cos 10°$

$\Rightarrow h = 0{,}304\,m$

$\Rightarrow \frac{mV^2_{max}}{2} = mgh + \frac{mV^2}{2}$

$\Rightarrow \frac{V^2}{2} = \frac{V^2_{max}}{2} - gh$

$\Rightarrow V = \sqrt{2\left(\frac{V^2_{max}}{2} - gh\right)} = \sqrt{2\left(\frac{5^2}{2} - 9{,}81 \cdot 0{,}304\right)}$

$\Rightarrow V = 4{,}36\ \frac{m}{s}$

$\boxed{V = 4{,}36\ \frac{m}{s}}$

10 Ondes mécaniques

10.1 Ondes mécaniques -exemples et définition

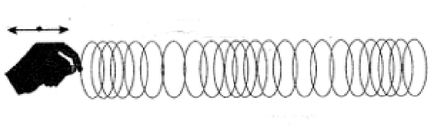
Au premier chapitre, nous avons vu les caractéristiques des oscillateurs harmoniques.

Un oscillateur harmonique vibrant au sein d'un milieu produit une onde au sein de ce milieu. Mais qu'est-ce qu'une onde ?

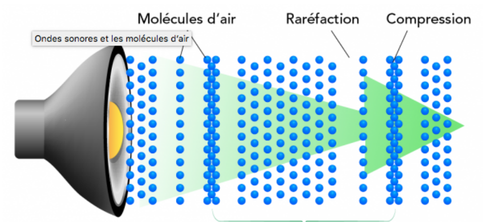
Prenons quelques exemples :

- Laissez tomber un caillou dans l'eau, la chute du caillou dans l'eau produit des vagues. Ces vagues se propagent au sein du milieu (ici l'eau). Dans ce cas, l'oscillateur harmonique est du à la chute du caillou et l'onde est due aux vagues qui se propagent.

- Réalisez des ondes le long d'une corde. Nous voyons une perturbation qui se propage le long de la corde. Ici, l'oscillateur harmonique est la main et le milieu de propagation de l'onde est la corde.

- 

  Produisons des ondes le long d'un ressort en réalisant un mouvement vibratoire horizontal avec la main (l'oscillateur harmonique). Nous voyons une succession de compressions dilatations qui se propagent le long du ressort (le milieu).

- 

  Le son est également une onde. Un haut-parleur (l'oscillateur) produit des ondes en **vibrant dans l'air (le milieu).** Lorsque le haut-parleur vibre, il pousse contre l'air ambiant. Les vibrations entraînent une succession de compressions et de **dilatations** de l'air. Cela provoque des zones de haute et de basse pression à mesure que le son se propage.

10.2 Ondes longitudinales et transversales

10.2.1 Vidéos à visualiser

- Ondes mécaniques progressives : https ://youtu.be/6eTtMmU9sqM

- Ondes transversales et longitudinales : https ://youtu.be/X8wx9n0mgaM

- Cours de physique TS ondes : *https ://youtu.be/mq9qbbSGgos*

- 45 épic battles : *https ://youtu.be/cNXP3XnS60s*

10.3 Caractéristiques des ondes progressives

10.3.1 Fréquence d'une onde progressive

Considérons une onde progressive se déplaçant au sein d'un milieu. (Par exemple des vagues à la surface de l'eau).

Chaque point du milieu oscille avec la même fréquence que celle de l'oscillateur harmonique responsable de la production de l'onde.

10.3.2 Longueur d'onde d'une onde progressive

La vitesse v d'une onde **(aussi appelée célérité** de l'onde) sera égale au rapport de la distance parcourue par l'onde sur le temps mis pour parcourir cette distance.

Si nous considérons un intervalle de temps égal à la période, la distance parcourue sera alors appelée la longueur d'onde et représentée par le lettre lambda λ.

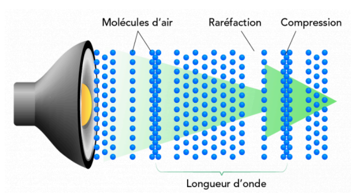
Nous avons donc :

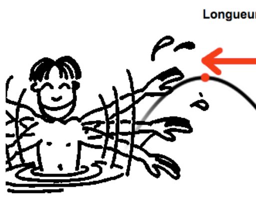
10.4 Vidéos à visualiser

- Khan Academy : grandeurs et caractéristiques d'une onde : *https ://youtu.be/4dnzEEHRTEI*

- Longueur d'onde et fréquence : *https ://youtu.be/2ww9MBD9UC0*

- Caractéristiques des ondes progressives. *https ://youtu.be/C5woKhTTKCM*





10.4.1 Vitesse de propagation d'une onde

La vitesse de propagation d'une onde ne dépend que des caractéristiques du milieu au sein duquel l'onde se propage.

La vitesse d'une onde au sein d'un milieu sera d'autant plus grande que la rigidité du milieu sera importante.

Exemples :

- la vitesse de propagation du son dans l'air à 15°C est de 340 m/s. (à connaître) .Nous utiliserons cette valeur dans la suite du cours et pour les exercices.
- la vitesse de propagation du son dans l'air à 30°C est de 349 m/s.
- la vitesse de propagation du son dans l'air à 0°C est de 331 m/s.
- la vitesse de propagation du son dans l'eau de mer est de 1500m/s.

Autrement dit, si vous modifiez la fréquence d'une onde sans modifier le milieu au sein duquel elle se propage, la vitesse de l'onde reste inchangée, c'est la longueur d'onde qui varie.

10.5 Vidéos à visualiser

Khan Academy : vitesse du son : *https ://youtu.be/pkv9OIHOmSU*

10.6 Exercice

10.6.1 Exercice

Une onde progressive transversale et entretenue est produite le long d'une corde. La distance entre deux crêtes est de 20 cm et la fréquence du vibreur étant de 50 Hz, quelle est la vitesse de propagation de l'onde le long de la corde. Exprime-la en km/h.

10.6.2 Exercice

Une chauve-souris émet des ondes ultrasonores dont la plus petite longueur d'onde est de 3,4 mm. La durée mise par les ondes pour revenir à la chauve-souris permet à cette dernière, après réflexion de l'onde sur une proie, d'apprécier la distance la séparant de cette proie, un papillon par exemple. C'est le phénomène d'écholocation.

Calcule la fréquence des ondes émises par la chauve-souris.

10.6.3 Exercice

Sachant que la gamme d'audibilité de l'oreille humaine est comprise entre 20 Hz et 20 kHz, vérifie que la fréquence des ondes ultrasonores émises par la chauve-souris ne sont pas audibles par l'homme.

10.6.4 Exercice

Un sonar sur un bateau émet des ultrasons. L'appareil envoie un signal au fond de la mer. Le signal réfléchi est reçu 0,2 secondes après l'émission. Calculer la profondeur de l'eau.

10.6.5 Exercice

Une cuve à onde est un récipient rempli d'eau. Un vibreur produit des vagues à la surface de l'eau et à l'aide d'un miroir qui se trouve à l'intérieur de la cuve, nous pouvons visualiser la propagation des vagues sur un écran. Les cercles en traits pointillés représentent les creux des vagues et les cercles en traits pleins, les crêtes des vagues.

10.6.6 Exercice

Un expérimentateur observe une distance entre deux crêtes de 3 cm lorsque le vibreur oscille à une fréquence de 220 Hz.

1. Quelle est la longueur d'onde de l'onde produite ?
2. Quelle est la vitesse des ondes à la surface de l'eau (donc la vitesse des vagues) ?
3. Si la fréquence du vibreur augmente, comment varie la vitesse des ondes ? Justifie ta réponse.

1. Un bateau au mouillage, soumis à la houle des vagues, monte et descend de 2 mètres (en tout) toutes les 12 secondes. On mesure la distance entre deux crêtes qui est 8 mètres.

1. Réaliser le graphique de la variation de l'élongation en fonction du temps.

1. Réaliser le graphique de la variation de l'élongation en fonction de la distance à la source.

1. Calculer la vitesse des vagues.

10.6.7 Exercice 2

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Indique la réponse correcte, V ou F, dans la case prévue à cet effet.

1. La longueur d'onde d'un son dans l'air est d'autant plus petite que la fréquence de l'onde est grande.
2. Les rides provoquées à la surface de l'eau par un excitateur sont des ondes longitudinales.
3. Un signal dont la période est de 25 ns a une fréquence de 40 GHz.
4. La vitesse de propagation d'une onde au sein d'un milieu dépend de la fréquence du signal responsable de la propagation des ondes.
5. Au plus une corde de guitare est tendue, au plus le son émis par cette corde est grave.
6. Le phénomène de résonance réalisé à l'aide de deux diapasons peut se produire dans le vide.
7. La longueur d'onde d'une vibration sonore dans l'air étant de 5 cm, la fréquence correspondante est de 6,8 kHz.
8. Un son d'une fréquence de 30 MHz est audible pour l'homme.
9. Si on entend l'écho d'un cri 3 secondes après l'avoir émis, l'obstacle réfléchissant se trouve donc à 510 m.
10. Un son aigu dans l'air a une plus grande longueur d'onde que le son produit par la même source mais placée dans l'eau.
11. Des vagues à la surface de l'eau dans une cuve à onde se déplacent plus rapidement si la fréquence du vibreur augmente

10.7 Exercice 3 QCM

Quelle(s) est (sont) la (les) affirmation(s) correcte(s) ?

1. **Lors de la propagation d'une onde mécanique, il y a :**

- Transport d'énergie
- Transport de matière
- Ni transport de matière et ni transport d'énergie

10.7.1 Exercice 4

Dans une piscine, Juliette se trouve en un point M situé à 5,0 m de la machine à vagues placée en S. Comme elle est juste assez grande pour sortir la tête de l'eau, elle doit sauter à chaque fois qu'une crête de vague l'atteint. La vitesse des vagues est de 2,0 m/s. Juliette doit sauter :

1. 2,5 s après la création de la vague en S
2. 0,40 s après la création de la vague en S
3. En même temps que se crée la vague en S

Les ondes progressives périodiques présentent :

1. Une périodicité temporelle
2. Une périodicité spatiale

La fréquence d'un phénomène périodique :

1. Est donnée par l'inverse de la période
2. Est le nombre de fois que se répète le phénomène par seconde
3. Représente la durée du phénomène

1. **Une onde de période T = 10 ms se propage à la vitesse v = 250 m/s. Sa longueur d'onde vaut :**

A. 2,5 m

B. 2,5 km

C. 25 km

1. **Voici quatre propositions concernant la propagation du son dans l'air, laquelle (lesquelles) est (sont) correcte(s) ?**

A. Il s'agit de la transmission de proche en proche de la vibration des molécules constituant l'air.

B. Cette vibration s'effectue perpendiculairement à la direction de propagation.

C. La longueur d'onde d'un son périodique est indépendante de sa fréquence.

D. Dans le même milieu, un observateur entend les sons aigus plus rapidement que les sons graves issus simultanément de la même source.

1. **On utilise des ultrasons émis à la fréquence de 40 kHz, dans l'air. Parmi les affirmations suivantes, laquelle (lesquelles) est (sont) correcte(s) ?**

A. La longueur d'onde des ultrasons est 8,5 mm.

B. La distance parcourue pendant une période est 8,5 mm.

C. La fréquence est modifiée si l'on change la nature du gaz dans lequel ils se propagent.

D. Si la fréquence des ultrasons est divisée par deux, alors leur vitesse de propagation dans un milieu donné est également divisée par 2.

11 *4- Etude mathématique de l'onde progressive (P 39 - 40 du livre)*

Vidéos à visualiser sur YouTube :

Onde mécanique sinusoïdale ½.CORDE (transversale). =vT.Phase.Double périodicité. *https ://youtu.be/9Hs9jeuDzwg*

Onde sur une corde. *https ://youtu.be/N654RoNHalc*

Mise en situation :

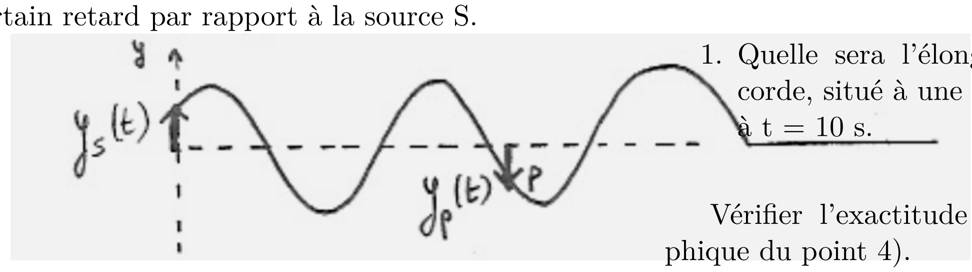
Soit une onde transversale progressive et périodique produite le long d'une corde.

- S étant la source (le vibreur est un oscillateur harmonique).
- P est un point de la corde situé à une distance d de la source.
- Vous savez que la variation de l'élongation de la source S en fonction du temps peut s'écrire :

$y_s(t) = A \sin$ (t) si nous considérons la constante de phase nulle.

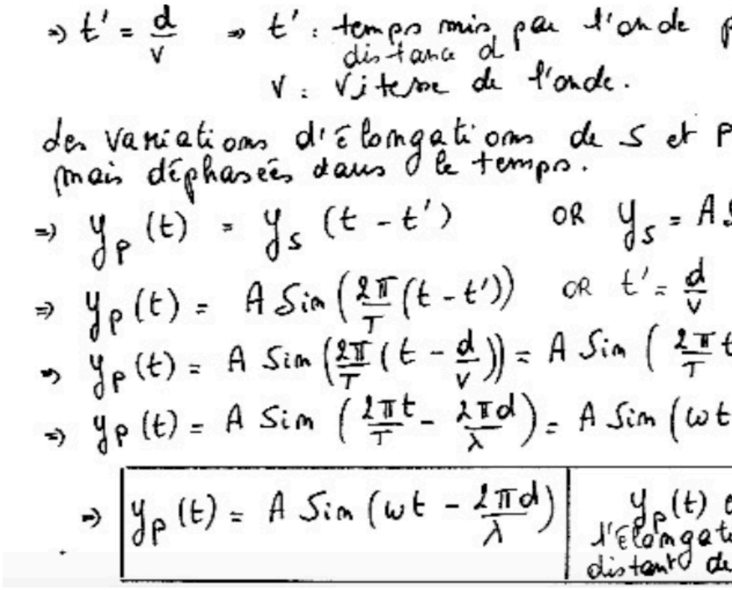
- Comment pourrions-nous écrire la variation de l'élongation d'un point P de la corde en fonction du temps, sachant que le point P est distant d'une distance d de la source ? Notons la $y_P(t)$.

Un point P quelconque de la corde oscille à la même fréquence que la source S mais à un instant donné, leurs élongations ne sont pas les mêmes. Le point P oscille comme la source mais avec un certain déphasage dû au temps que met l'onde pour atteindre le point P. Le point P oscille donc avec un certain retard par rapport à la source S.



Le point P reproduit l'oscillation de la source avec un certain retard t' qui est le temps mis par l'onde pour atteindre le point P.

Or nous savons que le temps est le rapport d'une distance sur une vitesse.



Exemple

Un vibreur provoque des ondes sinusoïdales de période T = 2s à l'extrémité d'une corde. A l'instant initial, l'élongation est nulle. L'amplitude des ondes est de 1 mètre. La vitesse de l'onde le long de la corde est de 4 m/s.

1. Déterminez la longueur d'onde le long de cette corde.

1. Quelle est l'élongation du vibreur à t = 10 s ?

1. Quelle sera la distance parcourue par l'onde à t = 10s ?

1. Représenter la corde à t = 10 s.

1. Quelle sera l'élongation d'un point P de la corde, situé à une distance d = 3m du vibreur à t = 10 s.

Vérifier l'exactitude de la réponse sur le graphique du point 4).

1. Quelle sera l'élongation d'un point P de la corde, situé à une distance d = 5m du vibreur à t = 10 s.

Vérifier l'exactitude de la réponse sur le graphique du point 4).

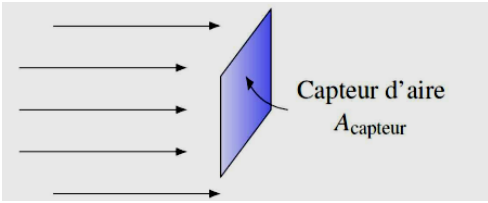


FIG. 12 :

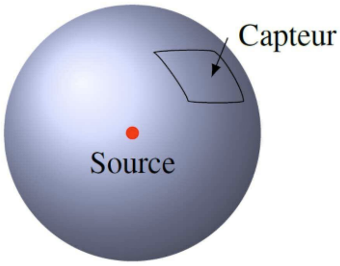


FIG. 13 :

ONDES SONORES

LES 3 CARACTERISTIQUES DU SON

Lorsque vous écoutez une mélodie jouée par un instrument de musique ou une personne qui parle, vous pouvez déterminer de quel instrument il s'agit ou quelle est la personne qui parle.

Vous pouvez également détecter les différences de fréquence et les variations de volume sonore.

Le son a trois caractéristiques :

1) La hauteur : liée à la fréquence.

La hauteur du son est la sensation d'aigu ou de grave. Elle est liée à la fréquence de vibration de la source oscillante.

Un son grave pour l'oreille humaine correspond à une basse fréquence, un son aigu à une fréquence élevée.

L'oreille humaine perçoit des sons si leur fréquence est comprise approximativement entre 16 Hz et 20 kHz.

D'un point de vue musical, la hauteur du son détermine la note.

2) Le timbre

Le timbre d'un son est la sensation physiologique qui permet de distinguer deux sons de même fréquence mais dont la perception semble différente. C'est une caractéristique du son qui nous permet de déterminer la différence entre deux voix de deux personnes différentes.

3) L'intensité sonore.

C'est la caractéristique du son liée à l'amplitude du son perçu. Nous disons dans le langage courant qu'il s'agit du volume du son (plus ou moins « fort »).

3.1) Définition de l'intensité sonore

Une source sonore produit une onde qui est captée par un auditeur se trouvant à une certaine distance de l'émetteur.

Quelle sera l'intensité sonore perçue par le capteur ? Comment définir cette intensité sonore ?

a) Energie captée en fonction de la surface du capteur

Dans le cas d'une onde sonore à une dimension, un capteur situé juste à côté de l'émetteur reçoit la totalité de la puissance de l'onde, car l'onde n'a pas d'autre place où aller.

Pour une onde en trois dimensions (produisant un son de façon isotrope dans toutes les directions), le capteur ne captera qu'une partie de l'onde, car seule une partie de l'onde atteint le capteur. L'énergie captée dépend donc de la surface du capteur.

b) Energie captée en fonction du temps

Évidemment, on captera plus d'énergie si on capte l'énergie de l'onde pendant plus de temps. La quantité d'énergie captée doit donc être proportionnelle au temps pendant lequel on capte l'énergie.

L'énergie captée (E) est :

- proportionnelle à un facteur qui va dépendre de l'énergie de l'onde. On va appeler ce facteur *l'intensité de l'onde (I).* On capte peu d'énergie avec une onde de faible intensité et beaucoup avec une onde de grande intensité. La quantité d'énergie captée doit donc être proportionnelle à l'intensité I de l'onde.

- proportionnelle à la surface du capteur (A)
- proportionnelle au temps durant lequel le capteur reçoit l'onde (t).

Donc

La définition de l'intensité sonore est donc l'énergie captée par unité de surface et de temps autrement dit la puissance captée par unité de surface.

L'intensité sonore s'exprime donc en W/m²

3.2) Intensité sonore et échelle logarithmique

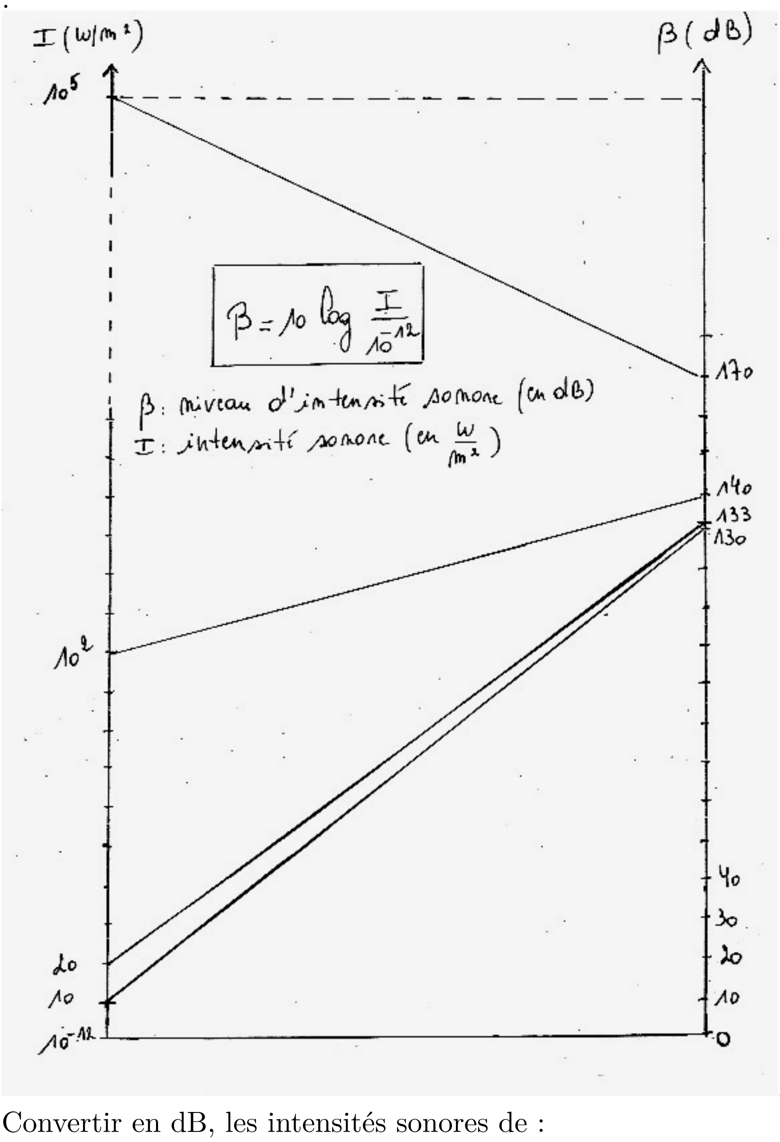
L'oreille humaine peut capter des sons dont l'intensité est ***au minimum de 10^{-12} W/m²***.

Si le son a une intensité plus petite que cette valeur, on n'entend pas le son.

- L'intensité sonore minimale perceptible par l'oreille humaine est de 10^{-12} W/m²
- Une conversation normale correspond à une intensité de 3.10^{-6} W/m²
- Le son devient trop intense pour l'oreille humaine si son intensité dépasse 1 W/m² (approximativement). C'est le seuil de la douleur.
- Des bruits dangereux pour l'oreille correspondent à 10^2 W/m² et plus.
- Une intensité sonore de 10^5 W/m² serait l'intensité sonore perçue si vous placiez votre oreille à la sortie d'un réacteur d'avion. C'est la limite de rupture du tympan (approximativement).

L'éventail des sons audibles en terme d'intensité sonore est très grand. C'est pourquoi il est plus commode d'utiliser ***une échelle logarithmique, appelée échelle décibel.***

La relation entre l'intensité sonore I (en W/m²) et le niveau d'intensité sonore   (en décibel noté dB) est :



Exercices

Convertir en dB, les intensités sonores de :

a) I = 10^{-12} W/m² (Rép :   = 0 dB)

b) I = 10 W/m² (Rép :   =130 dB)

c) I = 20 W/m² (Rép :   =133 dB)

d) I = 10^2 W/m^2 (Rép : = 140 dB)
e) I = 10^5 W/m^2 (Rép : =170 dB)

12 *Exercice*

a) Calculez le niveau d'intensité sonore émis par un haut-parleur produisant un son d'une intensité sonore de 10^{-5} W/m^2 (Rép : =70 dB)

a) Calculez le niveau d'intensité sonore émis par deux haut-parleurs produisant chacun un son d'une intensité sonore de 10^{-5} W/m^2 (Rép : =73 dB)

a) Calculez le niveau d'intensité sonore émis par trois haut-parleurs produisant chacun un son d'une intensité sonore de 10^{-5} W/m^2 (Rép : =75 dB)

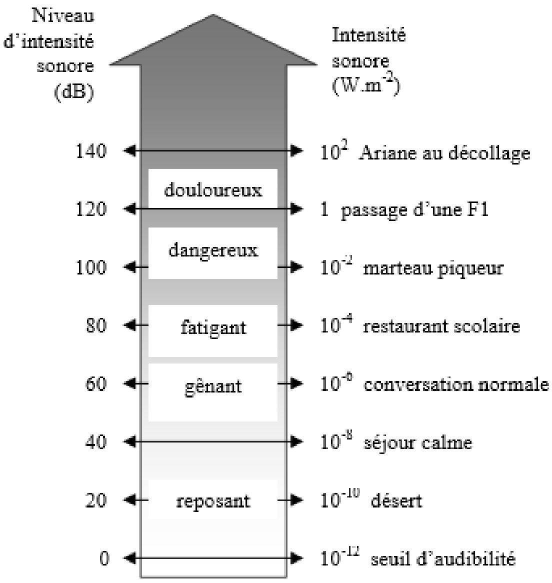
a) Calculez le niveau d'intensité sonore émis par dix haut-parleurs produisant chacun un son d'une intensité sonore de 10^{-5} W/m^2 (Rép : =80 dB)

13 *CONCLUSION*

L'échelle des décibels n'est pas une échelle linéaire (c'est une échelle logarithmique).

Chaque fois que l'intensité sonore double , le niveau d'intensité sonore augmente de approximativement 3 dB. Autrement dit, un son deux fois plus intense verra son niveau d'intensité sonore augmenter de 3 dB.

Si l'intensité sonore est **multipliée par 10**, le niveau d'intensité sonore **augmente** exactement de 10 dB (car il s'agit d'un log en base 10).



Règles en vigueur en Belgique.

Pour la sécurité de vos oreilles, je vous conseille vivement de lire votre livre de la page 53 à 55.

En Belgique, un arrêté de l'Exécutif régional wallon limite à 90 dB le niveau d'intensité sonore dans les discothèques et salles de concert (cette norme sécuritaire est malheureusement très peu souvent respectée).

Il existe une application sur les Smartphones : le sonomètre.

Vous pouvez m'en faire une démonstration en classe si vous le désirez.

EXERCICES (du livre p 58)

1) Calculer le niveau d'intensité sonore correspondant à un ensemble de trois sources identiques produisant chacune séparément un niveau d'intensité sonore de 60 dB.

2) Dans une pièce, une imprimante produit un son d'un niveau sonore de 60 dB. Simultanément, dans la même pièce, un ventilateur produit un son de niveau sonre égal à 50 dB. Calculer le niveau d'intensité sonore perçu par un auditeur dans la pièce.

3) Un son de niveau d'intensité sonore de 70 dB atteint un mur dans lequel il perd 99% de son intensité en le traversant. Quel est le niveau d'intensité sonore perçu après avoir traversé le mur ? (C'est à peu près ce qu'il se passe entre deux locaux dans lesquels deux profs donnent cours en parlant simultanément).

4) En Belgique, l'exposition des travailleurs à des bruits de niveau d'intensité sonore de 80 dB pendant 8 heures par jour est considérée légalement comme le plafond à ne pas dépasser. Pour un niveau d'intensité sonore de seulement 3 dB en plus, la durée d'exposition doit être réduite de moitié, soit 4 heures maximum. Justifie la logique de cette règle.

5) Une exposition quotidienne durant 8 heures à un niveau d'intensité sonore de 80 dB est considérée par la loi belge comme étant la limite maximale à ne pas dépasser.

Calculez la durée d'exposition quotidienne à ne pas dépasser si le niveau d'intensité sonore est de 98 dB (comme dans beaucoup de discothèques ou lorsque vous êtes proches des enceintes à un festival).

EXERCICES (du livre p 58)

1) Calculer le niveau d'intensité sonore correspondant à un ensemble de trois sources identiques produisant chacune séparément un niveau d'intensité sonore de 60 dB.

2) Dans une pièce, une imprimante produit un son d'un niveau sonore de 60 dB. Simultanément, dans la même pièce, un ventilateur produit un son de niveau sonre égal à 50 dB. Calculer le niveau d'intensité sonore perçu par un auditeur dans la pièce.

3) Un son de niveau d'intensité sonore de 70 dB atteint un mur dans lequel il perd 99% de son intensité en le traversant. Quel est le niveau d'intensité sonore perçu après avoir traversé le mur ? (C'est à peu près ce qu'il se passe entre deux locaux dans lesquels deux profs donnent cours en parlant simultanément).

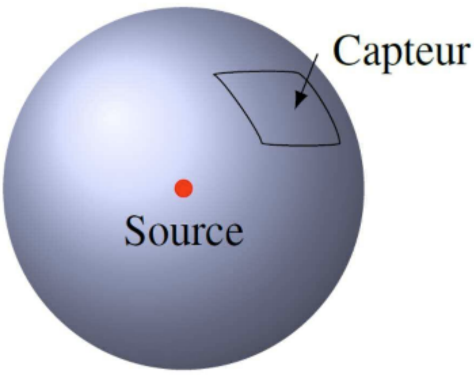
4) En Belgique, l'exposition des travailleurs à des bruits de niveau d'intensité sonore de 80 dB pendant 8 heures par jour est considérée légalement comme le plafond à ne pas dépasser. Pour un niveau d'intensité sonore de seulement 3 dB en plus, la durée d'exposition doit être réduite de moitié, soit 4 heures maximum. Justifie la logique de cette règle.

5) Une exposition quotidienne durant 8 heures à un niveau d'intensité sonore de 80 dB est considérée par la loi belge comme étant la limite maximale à ne pas dépasser.

Calculez la durée d'exposition quotidienne à ne pas dépasser si le niveau d'intensité sonore est de 98 dB (comme dans beaucoup de discothèques ou lorsque vous êtes proches des enceintes à un festival).

3.3.Intensité à une distance r d'une source isotrope

Imaginez une source, l'explosion d'un pétard par exemple, qui produit un son d'une certaine puissance P. Pourrions-nous calculer l'intensité sonore perçue si vous êtes à une certaine distance R du pétard ?



Imaginons que l'on soit à une certaine distance R d'une source qui émet une énergie E pendant un temps t. Ici, l'énergie est émise également dans toutes les directions, ce qui signifie qu'on a affaire à une source isotrope.

Ainsi, à une certaine distance r, l'énergie émise est distribuée également sur une sphère entourant la source.

À une certaine distance de la source, il y a un capteur ayant une aire Acapteur. Le capteur ne capte qu'une partie de l'énergie émise par la source.

La proportion captée est donnée simplement par le rapport entre l'aire du capteur (Acapteur) et l'aire totale sur laquelle est répartie l'énergie de la source.

Exercices

EXERCICE 1

Une source lumineuse isotrope a une puissance de 100 W.

Quelle est l'intensité sonore de l'onde captée à 120 m de la source ?

EXERCICE 2

Une personne crie à 100 m de distance d'un auditeur en produisant un son d'une intensité perçue de 55 dB. Quelle sera le niveau d'intensité sonore perçu par cet auditeur si 20 000 personnes se trouvant à 100 m de distance de cet auditeur produisent chacune un cri identique ?

EXERCICE 3

Un auditeur se trouvant à 50 mètres de distance d'une source sonore isotrope capte un son de 100 dB. Quel est le niveau d'intensité sonore perçu par l'auditeur à 1 km de distance de la source ?

EXERCICE 4

L'explosion d'un pétard produit un son ayant une intensité de 40 dB quand on est à 50 m du pétard. Quelle est l'intensité (en dB) du son produit par l'explosion de 1000 pétards si on est à 200 m de l'explosion ?

Exercices

EXERCICE 1

Une source lumineuse isotrope a une puissance de 100 W.

Quelle est l'intensité sonore de l'onde captée à 120 m de la source ?

EXERCICE 2

Une personne crie à 100 m de distance d'un auditeur en produisant un son d'une intensité perçue de 55 dB. Quelle sera le niveau d'intensité sonore perçu par cet auditeur si 20 000 personnes se trouvant à 100 m de distance de cet auditeur produisent chacune un cri identique ?

EXERCICE 3

Un auditeur se trouvant à 50 mètres de distance d'une source sonore isotrope capte un son de 100 dB. Quel est le niveau d'intensité sonore perçu par l'auditeur à 1 km de distance de la source ?

EXERCICE 4

L'explosion d'un pétard produit un son ayant une intensité de 40 dB quand on est à 50 m du pétard. Quelle est l'intensité (en dB) du son produit par l'explosion de 1000 pétards si on est à 200 m de l'explosion ?

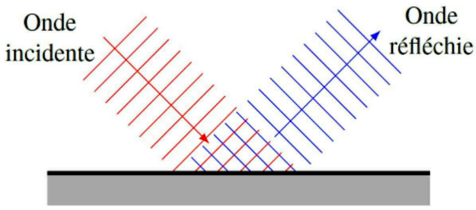


FIG. 14 :

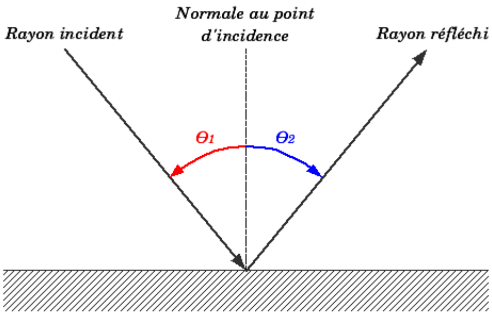


FIG. 15 :

PROPRIETES DES ONDES – Réflexion, réfraction.

Nous avons observé, grâce à la cuve à ondes, ces phénomènes ondulatoires.

Analysons-les plus en détail.

1- Réflexion des ondes (p 62 à 65 du livre)

Nous l'avons observée à l'aide de la cuve à onde et voyez sur la figure ci-contre que **la longueur d'onde est inchangée.**

Sous quel angle est renvoyée l'onde ?

Définitions :

a) **L'angle d'incidence (1)** est l'angle formé par la direction de propagation de l'onde incidente et la normale (la perpendiculaire) à l'obstacle.

b**) L'angle de réflexion (2)** est l'angle formé par la direction des ondes réfléchies et la normale.

Nous constatons que :

Applications : (Lire p 64-65)

1) Réflexion d'ondes sonores.

2) Réflexion sonores dans une salle.

3) Le sonar

4) L'échographie

5) La mer gaufrée- Pointe des Baleines à l'Ile de Ré, en France.

Une belle visualisation des ondes réfléchies est la mer gaufrée.

FIG. 16 :

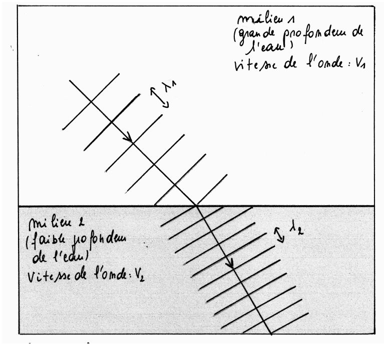


Fig. 17 :

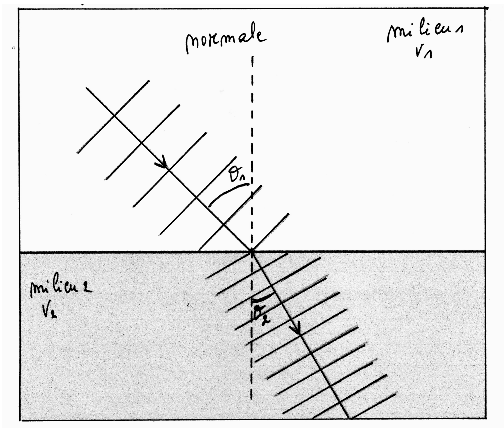


Fig. 18 :

Nous voyons la superposition des vagues incidentes et des vagues réfléchies qui produit “un quadrillage”, appellé “mer gaufrée”, particulièrement visible à l'Ile de Ré.

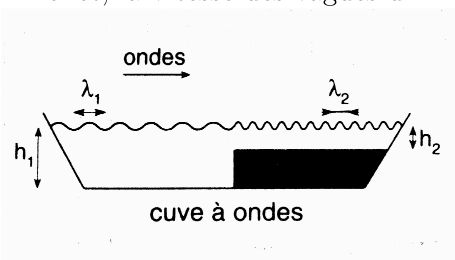
2- Réfraction des ondes (P 66 à 69 du livre)

La **réfraction** est un phénomène ondulatoire qui est tel qu'**une onde change de direction** lorsqu'elle **change de milieu**. Ce changement de direction est dû à un changement de vitesse de l'onde qui traverse deux milieux différents.

Analyse expérimentale.

Pour analyser ce phénomène, prenons une cuve à onde et simulons le changement de milieu à l'aide d'une modification de la profondeur de l'eau.

En effet, la vitesse des vagues diminue lorsque la profondeur de l'eau diminue.



Nous pouvons observer :

h1 h2 donc v1 v2

où v1 est la vitesse de l'onde dans le milieu le plus profond et v2 la vitesse de l'onde dans le milieu le moins profond.

Et comme f1 = f2 (la fréquence n'est pas modifiée, c'est la fréquence de l'OH) :

1 2

La réfraction modifie la vitesse de l'onde en changeant de milieu et donc modifie dans le même sens la longueur d'onde.

Observons la cuve à onde sous un autre angle, vue de haut (toujours dans la même situation : v1 v2).

Comme l'onde passe d'un milieu profond à un milieu moins profond, elles ralentissent et changent de direction.

Comment quantifier ce changement de direction ?