

Chap 6: La propagation d'un signal (4h)

6.1.Généralités

a) Les phénomènes vibratoires

- Lorsqu'un phénomène se répète à intervalles de temps réguliers, on dit qu'il est **PÉRIODIQUE**.

Exemples : Rotation de la lune autour de la Terre, rotation d'un disque, les battements du cœur...

- Un objet qui effectue des oscillations autour d'une position d'équilibre est un **OSCILLATEUR**.

Exemples : Pendule pesant, pendule de torsion, métronome... Les mouvements oscillatoires sont périodiques.

- Un objet qui effectue des oscillations *rapides* est animé d'un **MOUVEMENT VIBRATOIRE**.

Exemples : Oscillations d'une lame, des branches d'un diapason...

N.B : Tous les phénomènes cités sont mécaniques, mais de nombreux phénomènes vibratoires sont de nature électromagnétique (radio, télévision, lumière...).

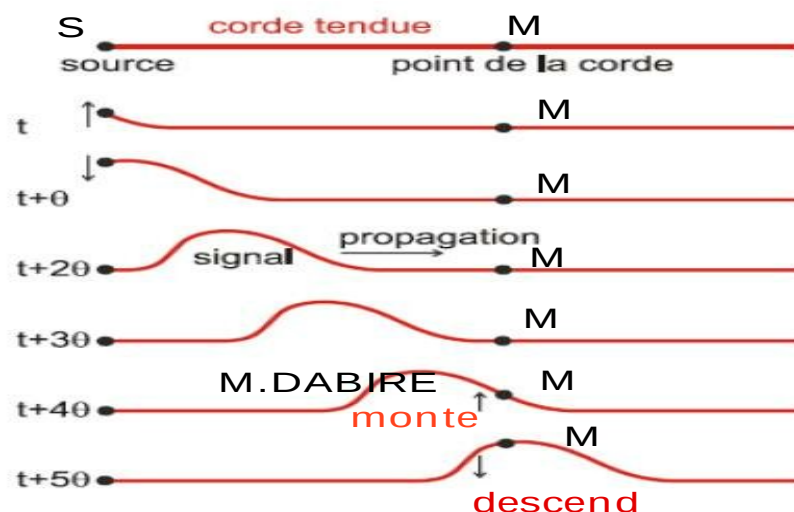
b) Scénario

Vous échangez un mot avec votre voisin de classe, vous produisez un signal sonore : c'est la **phase d'émission**. Le son émis par vos cordes vocales se propage dans l'air : c'est la **phase de propagation**. Le son excite les membranes tympaniques des oreilles voisines (les *récepteurs* sonores) y compris celles du professeur... C'est la **phase de réception**. Tout phénomène d'émission suppose trois phases : **L'émission ; la propagation et la réception**.

6.2.Caractéristiques de la propagation

a) Expérience

Sur une longue corde élastique tendue horizontalement, plaçons des cavaliers de papier en différents points ; produisons avec la main, en un point de la corde jouant le rôle de **point source S**, une brève secousse : nous avons localement et temporairement déformé la corde (fait varier sa tension) au point S.



▪ Une déformation mécanique, ou *ébranlement*, peut également être produite le long d'un fil de plomb ; le long d'un ressort, en comprimant 2 ou 3 spires ou sur une « échelle de perroquet » en écartant un barreau extrémal de sa position d'équilibre.

Observations : L'ébranlement se propage -de la source vers l'autre extrémité du milieu dans tous les cas envisagés sauf dans le fil de plomb, en conservant sa forme initiale. La propagation est progressive, c'est à dire non instantanée.

▪ Interprétation

- La propagation d'un signal s'effectue sans transport de matière mais correspond toujours à un transport d'énergie fournie par l'émetteur. La corde, le ressort, le ruban de torsion sont des **milieux élastiques**. Ils permettent la propagation des ébranlements mécaniques.

-Le signal s'amortit : dans le milieu et l'air environnant ; la propagation dissipe une partie de l'énergie fournie par l'émetteur.

-Le signal se propage avec une vitesse ou **célérité** finie.

Conclusion : Un signal est une déformation de courte durée d'un milieu élastique. Le point de départ du signal est la source, la direction et le sens dans lesquels il se déplace constituent la direction et le sens de propagation.

b) Définitions

-Si lors du passage de la déformation, les différents points du milieu se déplacent perpendiculairement à la direction de propagation, la déformation est un **signal transversal**.

Exemple : Si on jette un objet flottant sur le plan d'eau, cet objet, au passage du signal oscille verticalement et ne se déplace pas horizontalement.

-Si, lors du passage de la déformation, les différents points du milieu se déplacent dans la direction de propagation, la déformation est un **signal longitudinal**.

-Une onde est une série de signaux qui se suivent à intervalles de temps réguliers ; elle peut être transversale ou longitudinale.

Exemple : En effet, les spires du ressort oscillent horizontalement au passage de la perturbation et cette perturbation (zone de compression) se déplace dans la même direction.

N.B : Les solides, liquides permettent la propagation longitudinale comme transversale. Les gaz ne permettent que la propagation longitudinale.

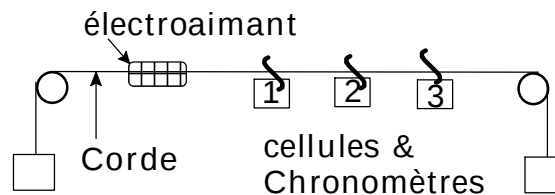
6.3. Célérité

6.3.1 Définition

On appelle célérité **c**, la vitesse de propagation d'un signal ou d'une onde dans le milieu de propagation. Elle s'exprime en m.s^{-1} . Elle est constante dans un milieu homogène et ne dépend pas du signal.

6.3.2 Mesure de la célérité

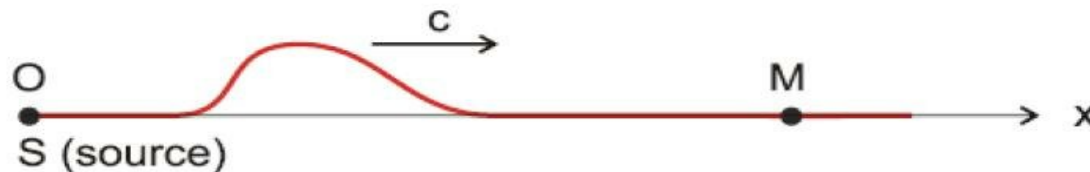
a) Expérience



Les cellules photoélectriques 1 ; 2 et 3 couplées aux chronomètres électroniques sont placées à égale distance dans le milieu de propagation. On peut faire varier l'énergie du lanceur qui produit l'ébranlement. Mesurons à l'aide du dispositif de la figure ci-dessous la vitesse de propagation d'un ébranlement le long de la corde.

Observations : Quelle que soit l'amplitude de la déformation initiale (qui reste faible toute fois comparée aux dimensions du milieu), les chronomètres donnent toujours les mêmes indications pour le milieu de propagation considéré. Le signal le long de la corde parcourt des distances pendant les mêmes durées : il progresse donc avec une célérité constante, *indépendante de sa forme et de son amplitude*.

b) Facteurs dont dépend la célérité



-La célérité dépend des propriétés élastiques du milieu : elle est d'autant plus grande que la corde est tendue. La célérité d'un signal augmente donc avec la tension de la corde.

- Plus l'inertie du milieu est grande ; plus la célérité diminue. Ainsi, sur une corde plus la masse linéique est grande plus la célérité diminue.

-Dans un milieu homogène et isotope la célérité d'un signal est constante.

Remarque : Pour atteindre le point M, le signal met un temps t tel que : $OM = c \cdot \Delta t$ d'où : $c = \frac{OM}{\Delta t} = \frac{d}{\Delta t}$

Exemple : Calculons la célérité le long de la corde utilisée dans le dispositif précédent lorsque l'affichage des chronomètres reliés aux cellules espacées de $d=50\text{cm}$ indique $0,025\text{s}$ (valeur sensiblement constante).

Réponse : $c = \frac{OM}{\Delta t} = \frac{d}{\Delta t}$; AN : $c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{0,50}{0,025\text{s}} = 20\text{m.s}^{-1}$; $c = 20\text{m/s}$

6.3.3 .Influence de l'inertie du milieu

Expérience

Des barreaux de même inertie sont fixés sur le ruban, la déformation progresse transversalement le long de l'échelle .



- **Observons :** Accrochons l'inertie des barreaux de l'échelle de perroquet en fixant des surcharges à leurs extrémités : l'ébranlement se propage alors plus lentement.
- **Interprétons :** La propagation d'un ébranlement mécanique dans un milieu matériel est d'autant plus lente que le milieu est inerte.

6.4. Propagation des signaux mécaniques et électromagnétiques

- Les ébranlements mécaniques peuvent être unidimensionnels (corde), bidimensionnels (surface de l'eau) ou tridimensionnels (les signaux sonores se propagent dans l'air qui entoure l'émetteur); comme pour les autres signaux mécaniques, il faut un *milieu matériel élastique* : **l'air**.
- Les signaux électromagnétiques : Ce sont les **signaux lumineux** ; les signaux **radioélectriques** ; les rayons γ ; les rayons X ; les micro-ondes ; ils se propagent dans le vide (dans l'air), plus lentement dans des milieux matériels transparents (l'eau, le verre...)
- La célérité de la lumière dans le vide est d'environ : $c = 300.000\text{km.s}^{-1}$ soit $c = 3.10^8\text{m.s}^{-1}$
- La célérité du son dans le vide est d'environ : $c = 340\text{m.s}^{-1}$

Exercice d'application

- 1) Comment appelle-t-on le phénomène physique engendré par la chute d'une pierre dans l'eau ? La propagation est-elle transversale ou longitudinale ? Quel est le rôle de l'eau dans ce phénomène ?
- 2) La durée d'une perturbation est $t=1,5.10^{-2}\text{s}$. La longueur du signal est $l=0,75\text{cm}$.
 - a) Quelle est la célérité dans le milieu ?
 - b) S est la source du signal. A l'instant $t_1=0,12\text{s}$ la queue du signal est en A tel que $SA=2,88\text{m}$. A quelle date le signal a-t-il été émis ?
 - c) A quelle date le front du signal atteint-il le point M tel que $SM=4,2\text{m}$? Ou est alors la queue du signal ?

Réponse

1) La pierre provoque une perturbation de courte durée de la surface. L'eau étant un milieu matériel élastique, la perturbation va se propager . Il s'agit donc d'un signal mécanique. La déformation de la surface se fait orthogonalement à la direction de propagation qui , elle est dans un plan horizontal . Donc ce signal mécanique est transversal. Ici l'eau est le milieu dans lequel le signal peut se propager : il s'agit donc d'un milieu élastique.

2) $c = \frac{0,75}{0,015} = 50\text{m.s}^{-1}$ 3) L'émission d'un signal correspond à l'excitation du front. $T = \frac{SA}{c} = 5,76.10^{-2}\text{s}$;

$t' = T + t = (5,76 + 1,5).10^{-2} = 7,26.10^{-2}\text{s}$. Notons t_0 la date d'émission : $t_0 = t_1 - t' = (12 - 7,26).10^{-2}\text{s}$; $t_0 = 4,74.10^{-2}\text{s}$.