

# PARTIE A : PROPAGATION D'UNE ONDE, ONDES PROGRESSIVES

## Chapitre 1 : Les ondes mécaniques progressives

### Pré requis :

- ✓ Formule de la vitesse en fonction de la distance et du temps vu en 2<sup>nde</sup> et 1<sup>ère</sup> S

### Connaissances et savoir-faire exigibles :

- (1) Définir une onde mécanique et sa célérité.
- (2) Définir et reconnaître une onde transversale et une onde longitudinale.
- (3) Connaître et exploiter les propriétés générales des ondes.
- (4) Définir une onde progressive à une dimension et savoir que la perturbation en un point du milieu, à l'instant  $t$ , est celle qu'avait la source au temps  $t' = t - \tau$ ,  $\tau$  étant le retard (dans un milieu non dispersif).
- (5) Exploiter la relation entre le retard, la distance et la célérité. (**Exercices**)
- (6) Exploiter un document expérimental (chronophotographies, vidéo) donnant l'aspect de la perturbation à des dates données en fonction de l'abscisse : interprétation, mesure d'une distance, calcul d'un retard et/ou d'une célérité.
- (7) Exploiter un document expérimental (oscillogrammes, acquisition de données avec un ordinateur...) obtenu à partir de capteurs délivrant un signal lié à la perturbation et donnant l'évolution temporelle de la perturbation en un point donné : interprétation, mesure d'un retard, calcul d'une célérité, calcul d'une distance. (**voir TP $\phi$ n°1**)
- (8) Savoir-faire expérimentaux : (**voir TP $\phi$ n°1**)  
Utiliser un dispositif expérimental pour mesurer un retard ou une distance lors de la propagation d'une onde. En particulier utiliser un oscilloscope pour mesurer le retard d'un clap sonore ou d'une salve d'ultrasons.

### Introduction expérimentale :

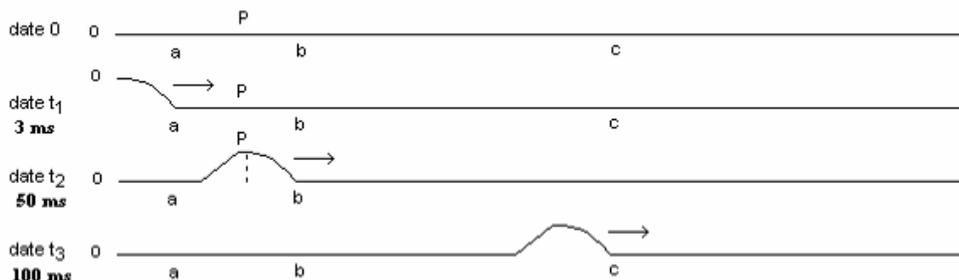
#### 1) Propagation d'une onde dans un milieu à une dimension :

##### a. Le long d'une corde : *Expérience et/ou Vidéos 1-2-3*

Une corde fixée à une extrémité est **excitée brièvement de façon verticale**. On aura préalablement **repéré un point** de la corde et sa position à l'aide d'une règle étalon.

**On tend davantage la corde** et on recommence l'opération.

#### Schéma :



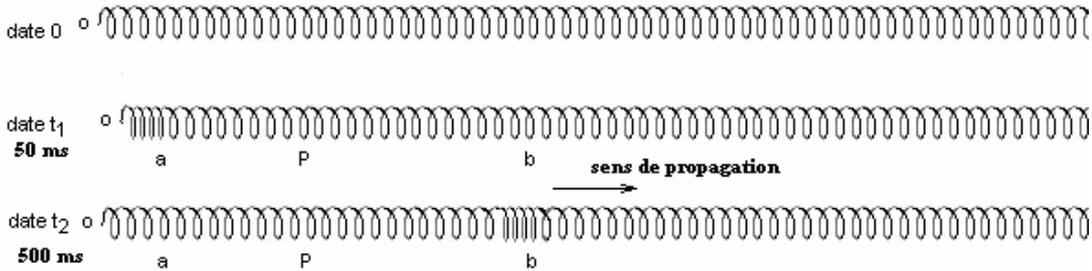
Observations :

- **Le point** repéré sur la corde **ne s'est pas déplacé** au passage de la perturbation.
- La **perturbation est perpendiculaire** à son déplacement.
- Si la **corde est davantage tendue**, alors la **perturbation se déplace plus rapidement**.

b. Le long d'un ressort : Vidéo 4

Un long ressort est tendu horizontalement sur une table, **on comprime manuellement quelques spires** à une des extrémités puis on les lâche rapidement.

Schéma :



Observations :

La **perturbation est parallèle** à son déplacement.

2) Propagation d'une onde dans un milieu à deux dimensions : la cuve à onde :  
*Expérience*

*et/ou Vidéo*

5

Un milieu à deux dimensions est par exemple la surface libre d'un fluide.

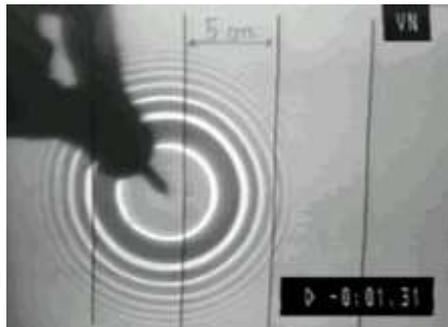
On perturbe la surface du fluide en son centre par la chute d'une goutte.

Situation :

Vous êtes au bord d'un lac et un enfant a laissé tomber son ballon au milieu du lac. Comment le lui ramené sans se mouiller ? on envoie une pierre devant le ballon, derrière ou dessus ?

On recommence l'opération en plaçant quelques billes de polystyrène sur la surface du liquide (vidéo 9).

Schéma :



Observations :

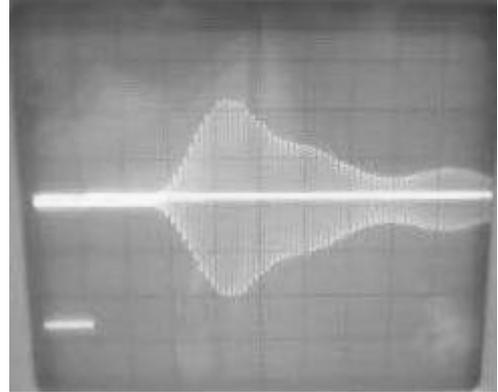
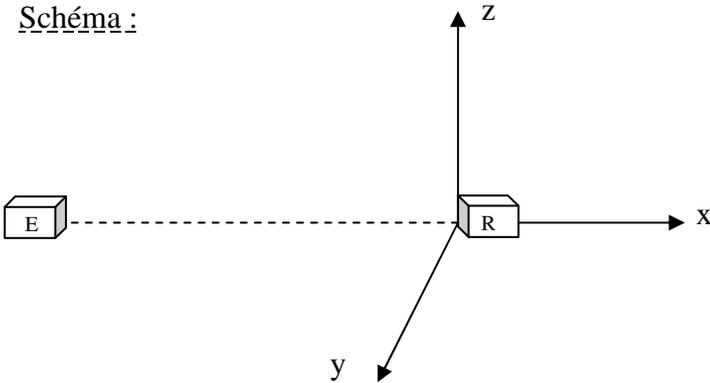
- La perturbation se propage sous forme de **rides circulaires** centrées sur le point de chute de la goutte.
- Alors que l'on **pourrait penser que les billes se déplacent horizontalement**, elles effectuent un **aller-retour quasi vertical** au passage de chaque onde.

3) Propagation d'une onde dans un milieu à trois dimensions : le son : *Expérience*

On place un émetteur à ultrasons et un récepteur face à face. On observe les signaux émis et reçus à l'aide d'un oscilloscope.

**On recule le récepteur de l'émetteur (suivant x). On le déplace de côté (suivant y) et verticalement (suivant z).**

Schéma :



Observations :

Même si elle est atténuée, la **perturbation émise se déplace dans toutes les directions de l'espace.**

**II Définitions :**

1) Définition d'une onde mécanique <sup>(1)</sup> :

**On appelle onde mécanique le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu sans transport de matière.**

En effet, le point repéré de la corde ne s'est pas déplacé (I.1.a), de même que les billes de polystyrène à la surface du liquide (I.2).

2) Célérité <sup>(1) et (3)</sup> :

**La célérité** (vient du latin celer [keler] : rapide) **d'une onde est la « vitesse » à laquelle elle se propage** (on préfère le terme célérité à celui de vitesse car il n'y a pas de transport de matière).

*Fiche élève*

Dans un **milieu non dispersif**, elle est définie par :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \begin{cases} v : \text{célérité de l'onde (m.s}^{-1}\text{).} \\ d : \text{distance parcourue par l'onde (m).} \\ \Delta t : \text{durée du parcours (s).} \end{cases}$$

<sup>(3)</sup> **La célérité d'une onde est une propriété du milieu dans laquelle elle se propage** (voir doc ci-contre).

Application : mesure de la célérité sur la cuve à onde <sup>(6)</sup> :

Vidéo 5 sur aviméca / étalonnage / pointage d'une crête bien repérable :

$$v = \frac{d}{t} = \frac{5.45 * 10^{-2}}{(3.2 * 10^{-1} - 8.0 * 10^{-2})} = 0.23 \text{ m/s}$$

Type d'onde	Célérité de l'onde (m · s <sup>-1</sup> )
Onde à la surface de l'eau	≈ 3 · 10 <sup>-1</sup>
Onde le long d'une échelle de perroquet	≈ 1
Onde le long d'une corde	≈ 1 · 10 <sup>1</sup>
Onde sonore dans l'air à 20 °C	342
Onde sonore dans l'eau à 20 °C	1,5 · 10 <sup>3</sup>
Onde sonore dans l'acier	5 · 10 <sup>3</sup>
Onde sismique	≈ 8 · 10 <sup>3</sup>

Exercice n° 7 p 35

Ou calcul de célérité avec le schéma ou la vidéo de la corde tendue

Remarques : à l'oral

- Un milieu est non dispersif quand la célérité des ondes est indépendante de leur fréquence (voir chap 2).
- La célérité d'une onde dépend notamment de l'inertie du milieu (résistance au déplacement) et de sa rigidité (résistance à la déformation).

3) Différents types d'ondes <sup>(2)</sup> :

Il existe des ondes de deux types :

a. Les ondes appelées **transversales** où la **direction de la perturbation est perpendiculaire au sens de déplacement de l'onde.**

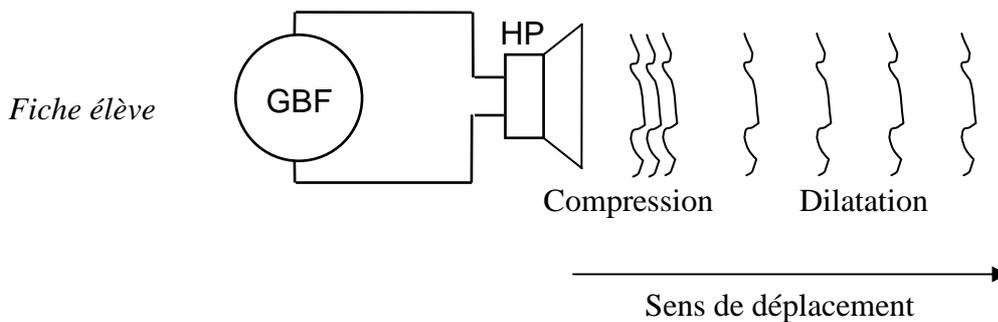
Ex : corde (I.1.a) et ride à la surface de l'eau (I.2)

b. Les ondes appelées **longitudinales** où la **direction de la perturbation est parallèle au sens de déplacement de l'onde.**

Ex : ressort (I.1.b) et ondes sonores (I.3)

Remarque : les ondes sonores :

La perturbation associée aux ondes sonores est une **compression-dilatation locale de l'air**, dont la **direction est identique au sens de déplacement de l'onde (ondes longitudinales).**



**III Propriétés générales des ondes** <sup>(3)</sup> :

- a. Une onde se propage à **partir de la source et dans toutes les directions offertes par le milieu.**
- b. **La perturbation qui donne naissance à l'onde se transmet de proche en proche : transport d'énergie sans transport de matière** (une fois la perturbation transmise, le milieu revient au repos).μ

c. Qu'arrive t-il lorsque deux ondes se croisent ?

Vidéos 6-7

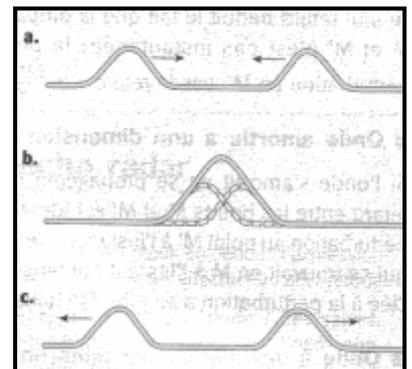
Expérience :

**On observe d'abord les deux ondes que l'on croquera successivement puis on pose la question aux élèves de savoir ce qu'il va se passer quand les ondes seront créées simultanément. On réalise l'expérience.**

Observations :

Contrairement aux réponses des élèves, **les deux ondes n'entrent pas en collision mais se croisent sans se perturber.**

Schéma :



**IV Onde progressive à une dimension <sup>(4)</sup> :**

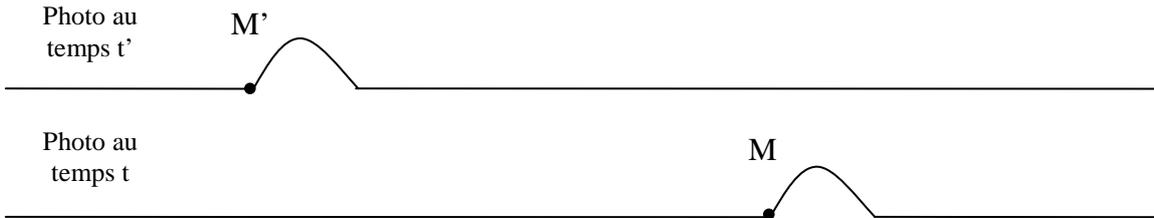
1) Définition :

Une onde progressive à une dimension a **pour direction de propagation une droite** (Ex : onde se propageant le long d'une corde).

On parle d'onde progressive pour bien spécifier que la perturbation progresse dans un milieu élastique.

2) Notion de retard :

Soit une onde émise par la source O et se propageant avec la célérité  $v$  le long d'une corde :



La perturbation en un point **M** du milieu, à l'instant **t**, est **celle qui existait auparavant** en un point **M'** au temps **t' = t - τ**, **τ étant le retard** (dans un milieu non dispersif).

$$\text{Comme } v = \frac{M'M}{t-t'} = \frac{M'M}{\tau} \text{ alors } \tau = \frac{M'M}{v}$$

Exercices n°16 p 37 et n°20 (cor) p 38



**Conclusion :**

On vient de voir ce qu'était une onde mécanique progressive et ses principales propriétés, on peut conclure en disant que **le déplacement d'une perturbation diffère notablement du déplacement d'un mobile :**

	<b>LE MOUVEMENT D'UN MOBILE</b>	<b>LA PROPAGATION D'UNE ONDE</b>
« Description »	se décrit à l'aide d'une <b>trajectoire</b>	se fait, à partir d'une <b>source</b> , dans toutes les <b>directions</b> possibles
« Matière »	correspond à un <b>transport</b> de matière	ne correspond pas à un <b>transport</b> de matière
« Amortissement »	est ralenti par les <b>frottements</b> avec le milieu matériel	Dans un milieu matériel une onde peut être <b>amortie</b> mais cet <b>amortissement</b> porte davantage sur son amplitude que sur sa célérité <sup>1</sup> .
« Facilité à se déplacer »	un mobile se déplace <b>plus facilement</b> dans le vide que dans un gaz et <b>plus facilement</b> dans un gaz que dans un liquide ; le mouvement dans les solides est <b>impossible</b>	une onde mécanique <b>ne se propage pas</b> dans le vide ; elle se propage <b>plus vite</b> dans les liquides que dans les gaz et fréquemment <b>plus vite</b> dans les solides que dans les liquides ;
« Rencontre »	est modifié par un choc avec un autre mobile (modification de la <b>vitesse</b> , de la <b>trajectoire</b> , de l'énergie <b>cinétique</b> , déformation du solide, etc)	conserve ses <b>caractéristiques</b> après la rencontre avec d'autres ondes <sup>2</sup> (même <b>célérité</b> après la rencontre, même forme des surfaces d'ondes, même <b>fréquence</b> pour une onde périodique, etc)
« Vitesse et célérité »	se fait à une vitesse qui <b>dépend</b> des conditions initiales ( <b>vitesse</b> et <b>accélération</b> initiales)	se fait à une célérité qui, pour de faibles amplitudes, <b>ne dépend pas</b> du mouvement initial de la source
	s'effectue à une vitesse qui lui est propre et qui dépend des conditions initiales du mouvement.	s'effectue à une célérité qui dépend essentiellement du <b>milieu</b> de propagation (cf. indice de réfraction d'un milieu transparent)

<sup>1</sup> Par suite de la mise en œuvre de divers processus dissipatifs le milieu devient tout à la fois dispersif et absorbant.

<sup>2</sup> Remarque. Cette propriété découle de la linéarité des équations qui gouvernent la propagation des ondes. C'est le cas des ondes électromagnétiques dans le vide. Pour toutes les ondes se propageant dans la matière, y compris les ondes lumineuses, elle n'est plus valable pour des amplitudes élevées pour lesquelles des phénomènes non-linéaires peuvent apparaître avec interaction entre ondes.