

# Ondes mécaniques progressives

<http://ph-chmzrh.e-monsite.com/>

## Introduction :

Une pierre tombant sur une surface d'un étang provoque des vagues circulaires qui se propagent à la surface de l'eau. C'est un exemple d'une onde mécanique progressive.

- *Qu'est-ce qu'une onde mécanique progressive?*
- *Quels sont les différents types d'ondes progressives?*
- *Quelles sont les caractéristiques d'une onde progressive?*



**Doc.1** Onde progressive se propageant à la surface de l'eau.

## I. Ondes mécaniques progressives :

### 1. Onde mécanique :

#### Activité 1 :

Réaliser les trois expériences suivantes :

##### **Expérience 1:**

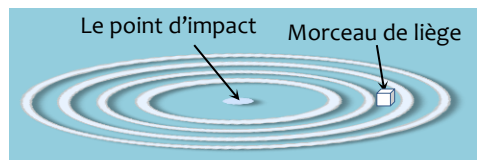
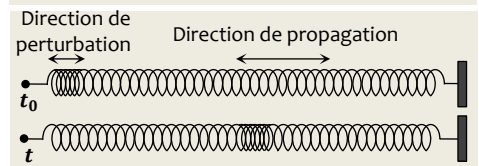
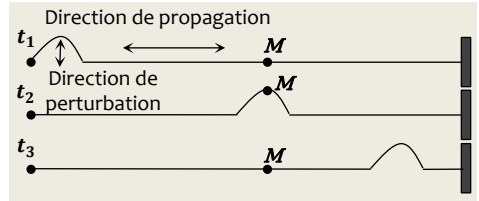
- Tendre horizontalement une longue corde.
- Provoquer une secousse brève à l'extrémité de la corde, dans une direction perpendiculaire à celle-ci.

##### **Expérience 2:**

- Tendre horizontalement un ressort de grande longueur.
- Comprimer quelques spires, puis les relâcher.

##### **Expérience 3:**

- Déposer un morceau de liège sur la surface de l'eau contenue dans une cuve.
- Laisser tomber une goutte d'eau dans la cuve.
  1. *Qu'observe-t-on dans chaque expérience?*
  2. *Y a-t-il un transport de matière constituant chaque milieu (la corde, le ressort et l'eau) lors de ce phénomène.*
  3. *Proposer une définition d'une onde mécanique.*



**Doc.2** Propagation d'une onde dans des milieux différents (corde, ressort, la surface de l'eau).

#### 1. Observations :

<b>Expérience 1</b>	La perturbation (déformation) provoquée à l'extrémité de la corde se propage le long de celui-ci. Chaque point de la corde, affecté par le passage de la perturbation, subit un mouvement vertical et reprend sa position antérieure sans être entraîné vers l'autre extrémité de la corde.
<b>Expérience 2</b>	La compression des spires provoquée à l'extrémité du ressort se propage le long de celui-ci. Chaque spire subit un mouvement de va- et- vient selon la direction du ressort et reprend sa position antérieure une fois que la perturbation passe.
<b>Expérience 3</b>	La chute de la goutte d'eau donne naissance à une perturbation formée de plusieurs vagues circulaires centrées sur le point d'impact. Cette perturbation se propage à la surface de l'eau et atteint le morceau de liège qui subit un mouvement vertical, sans être entraîné vers les bords de la cuve.

2. La propagation de la perturbation s'effectue sans transport de matière mais avec un transport d'énergie car chaque point du milieu de propagation subit un mouvement et reprend sa position antérieure sans être entraîné par la perturbation.

3. Une onde mécanique est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu élastique sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

## 2. Les ondes sonores :

### Activité 2 :

Réaliser les deux expériences suivantes:

#### Expérience 1:

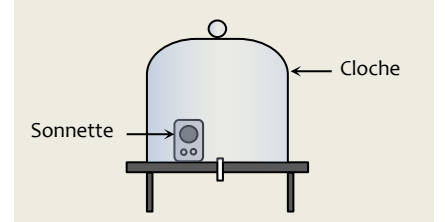
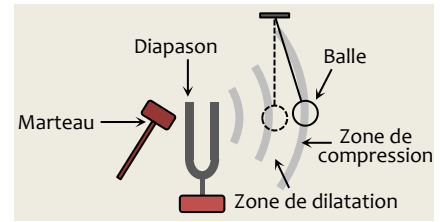
- Placer une balle de liège, accrochée à un support par un fil, à côté d'un diapason.
- Frapper le diapason par un marteau et observer la balle.

#### Expérience 2:

- Placer une sonnette en marche sous une cloche reliée à une pompe à vide.
- Vider la cloche de l'air et observer.

1. *Quel est le mouvement de la balle lorsque le diapason émet un son? Interpréter.*

2. *Le son se propage-t-il dans le vide? Conclure.*



Doc.3 Dispositifs expérimentaux permettant d'étudier l'onde sonore.

1. Lorsque le diapason émet un son, la balle effectue un mouvement de va-et-vient horizontal. L'onde générée par le diapason dans la direction de la balle provoque la vibration de l'air (apparition des zones de compression et de dilatation dans l'air) qui se propage. Cette vibration atteint la balle et la fait vibrer selon la même direction de propagation de l'onde.
  2. On observe la disparition du son lorsqu'on vide la cloche de l'air. Le son ne se propage pas dans le vide.
- Conclusion:** Le son est une onde mécanique se propageant dans les milieux matériels élastiques. Il se propage grâce à une compression et une dilatation du milieu de propagation.

## 3. Les différents types d'ondes mécaniques :

Dans *les activités 1 et 2*, la perturbation due à l'onde qui se propage dans un milieu élastique ( la corde, le ressort, la surface de l'eau et l'air) provoque un mouvement de chaque point de ce milieu selon une direction parallèle ou perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. Cela indique qu'il existe deux types d'ondes mécaniques:

- Une onde mécanique provoquant une perturbation dans une direction parallèle à celle de sa propagation dite **longitudinale**.
- Une onde mécanique provoquant une perturbation dans une direction perpendiculaire à celle de sa propagation dite **transversale**.

### Exemple:

Ondes longitudinales	Ondes transversales
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ L'onde qui se propage le long d'un ressort.</li> <li>○ L'onde sonore.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ L'onde qui se propage le long d'une corde.</li> <li>○ L'onde qui se propage à la surface de l'eau.</li> </ul>

### Conclusion

- **La déformation** (perturbation) est une variation locale instantanée d'une ou plusieurs propriétés physiques d'un milieu.
- **La source d'onde** est l'endroit où la perturbation est provoquée.
- **Le milieu élastique** est un milieu qui reprend sa forme antérieure après le passage de la déformation.
- **L'onde mécanique progressive** est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel élastique sans transport de matière mais avec transport d'énergie.
- **L'onde longitudinale** est une onde provoquant une perturbation dans une direction parallèle à celle de sa propagation.
- **L'onde transversale** est une onde provoquant une perturbation dans une direction perpendiculaire à celle de sa propagation.

## III. Les propriétés générales d'une onde mécanique :

### 1. Direction de la propagation d'une onde :

Une onde mécanique se propage, à partir de sa source, dans toutes les directions qui lui sont offertes. Ces directions permettent de distinguer trois cas:

- Dans un milieu unidimensionnel, l'onde se propage selon une seule direction et on parle d'une onde **unidimensionnelle**.
- Dans un milieu bidimensionnel, l'onde se propage dans des différentes directions du plan et on parle d'une onde **bidimensionnelle**.
- Dans un milieu tridimensionnel, l'onde se propage dans des différentes directions de l'espace et on parle d'une onde **tridimensionnelle**.

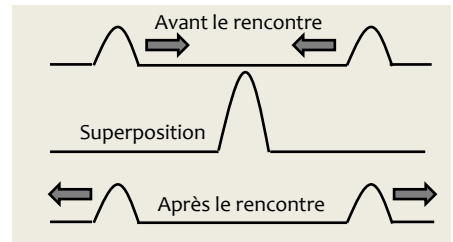
#### Exemple:

Onde unidimensionnelle	Onde bidimensionnelle	Onde tridimensionnelle
○ Onde le long d'une corde ou d'un ressort.	○ Onde circulaire à la surface de l'eau.	○ Onde sonore dans l'air.

### 2. Superposition de deux ondes mécaniques :

#### Activité 3 :

- Tendre horizontalement une longue corde.
- Provoquer des déformations transversales, simultanément, en chacune des extrémités de la corde et observer.
  1. Décrire le phénomène.
  2. Conclure.



Doc.4 Superposition d'ondes transversales.

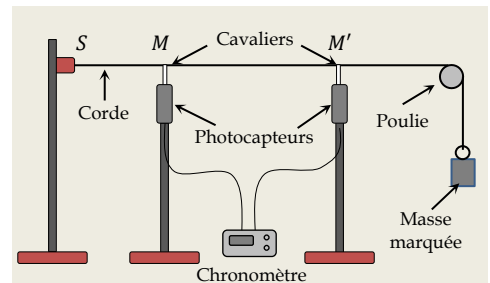
1. Les deux déformations se propagent dans des sens opposés et se rencontrent, au milieu de la corde, en formant une seule déformation d'amplitude égale à la somme des amplitudes des déformations. Après leur rencontre, elles continuent à se propager sans subir de modification. C'est le phénomène de la superposition.
2. Lorsque deux ondes mécaniques (d'une très faible déformation) se croisent, elles se superposent puis continuent à se propager, et chacune d'elles garde la même forme et la même vitesse de propagation.

### 3. Vitesse de propagation d'une onde :

#### Activité 4 :

Le montage ci-contre se compose de :

- Deux cavaliers sur une corde tendue, en face de deux photocapteurs reliés à un chronomètre qui permet de mesurer la durée de propagation de l'onde  $\Delta t$  entre les deux cavaliers.
  - Une masse marquée suspendue à l'extrémité de la corde, qui repose sur une poulie, permet de régler la tension de la corde.
  - Réaliser des mesures de la durée  $\Delta t$  en modifiant la tension de la corde, puis en changeant la corde par une autre plus grosse.
  - Regrouper les résultats obtenues dans un tableau.
    1. Donner l'expression de la vitesse de propagation.
    2. Compléter le tableau ci-contre.
    3. La vitesse de propagation dépend-elle de :
      - la tension de la corde?
      - sa masse linéique (masse par unité de longueur)?
- On donne :** - La distance entre les deux cavaliers  $d = 2 \text{ m}$ .  
 - L'intensité de pesanteur  $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .



Doc.5 Montage expérimental

m(g)	$\Delta t$ (s)	$\mu$ (kg/m)	T(N)	v(m/s)
50	1,10	0,15		
100	0,78	0,15		
100	1,00	0,25		

Doc.6 Tableau des résultats obtenus.

1. La vitesse de propagation d'une onde (célérité d'une onde) est définie par la relation:

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

Avec:  $\begin{cases} d : \text{la distance parcourue par l'onde en m.} \\ \Delta t : \text{la durée de la propagation en s.} \\ v : \text{la vitesse de propagation en m.s}^{-1}. \end{cases}$

2. Complétion du tableau.

3. La vitesse de propagation augmente lorsque la tension de la corde augmente, et elle diminue lorsque la masse linéique de la corde augmente. **La vitesse de propagation dépend de la tension de la corde et de sa masse linéique.**

La célérité d'une onde le long d'une corde est donnée par la relation:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Avec:  $\begin{cases} T : \text{la tension de la corde en N.} \\ \mu : \text{sa masse linéique en kg.m}^{-1}. \\ \mu = m/l : m \text{ la masse de la corde et } l \text{ sa longueur.} \end{cases}$

### Conclusion

- o La célérité d'une onde mécanique est indépendante de la forme, d'amplitude et de la durée de la perturbation. Elle dépend de la nature du milieu de propagation, de ses caractéristiques (température, élasticité, inertie...) et de son état physique (liquide, solide, gaz).
- o La célérité du son augmente avec la température du milieu de propagation, et elle est plus importante dans les solides et les liquides que les gaz.

Milieu de propagation	air (0°C)	air (20°C)	eau	fer
Célérité en $m.s^{-1}$	331	340	1500	6000

*Célérité du son dans différents milieux sous une pression atmosphérique (1 atm)*

## 4. Retard temporel de la propagation d'une onde :

Les graphes ci-contre représentent les variations d'élongation en fonction du temps de deux points M et M' de la corde.

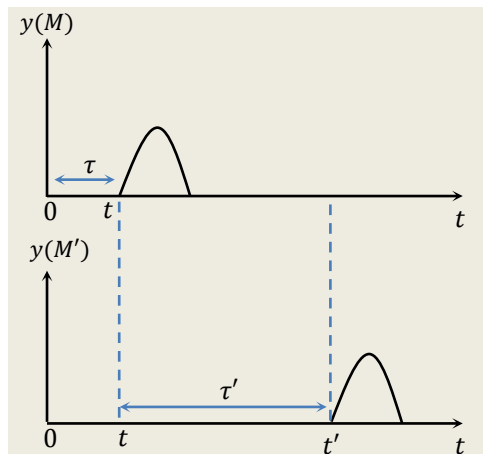
La perturbation provoquée à la source S ( à l'instant  $t_0 = 0$  ) se propage à la vitesse  $v$  et affecte le point M à l'instant  $t$ , puis le point M' à l'instant  $t'$ .

On a :  $v = \frac{SM}{t - t_0} = \frac{SM}{\tau}$  et  $v = \frac{MM'}{t' - t} = \frac{MM'}{\tau'}$

Donc :  $\tau = \frac{SM}{v}$  et  $\tau' = \frac{MM'}{v}$

$\tau$  : le retard temporel du mouvement du point M par rapport à la source S.

$\tau'$  : le retard temporel du mouvement du point M' par rapport au point M.



**Doc.7** Variations d'élongation en fonction de temps de deux points M et M' de la corde.

### Conclusion

- o En absence d'amortissement, tout point M du milieu de propagation reproduit le même mouvement de la source S avec un retard temporel  $\tau$  tel que :

$$\tau = \frac{SM}{v}$$

- o La relation entre l'élongation d'un point du milieu de propagation et l'élongation de la source est :

$$y_M(t) = y_S(t - \tau)$$