

## ONDES PROGRESSIVES CARACTERISTIQUES

### Compétences

- Définir une onde progressive à une dimension
- Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité)
- Définir, pour une onde sinusoïdale, la période (T), la fréquence (f) et la longueur d'onde ( $\lambda$ ).
- Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.

### Compétences expérimentales

- Pratiquer une démarche expérimentale
  - visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde
  - pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale

### Ian

- 1- Propagation d'ondes
  - 1.1- Ondes progressives
  - 1.2- Célérité et retard
- 2- Ondes progressives périodiques
  - 2.1- Ondes progressives périodiques
  - 2.2- Cas d'une onde sinusoïdale
- 3- Analyse spectrales
  - 3.1- Décomposition de Fourier
  - 3.2- Spectre d'un signal sonore

# 1- Propagation d'ondes

## 1.1- Ondes progressives

Une onde progressive est une onde qui se déplace dans toutes les directions de l'espace. Si elle se déplace dans une seule direction (ex sur une corde) on parle d'onde progressive à une dimension. Si elle se déplace dans une surface (ex l'onde à la surface de l'eau), on parle d'onde à deux dimensions. Si elle se déplace dans l'espace (ex onde sonore) on parle d'onde à trois dimension.

Pour simplifier on se place souvent dans une direction : on étudie donc une onde progressive à une dimension.

## 1.2- Célérité et retard

### La célérité

La vitesse de l'onde n'est pas infinie (l'onde ne se propage pas instantanément). Comme il n'y a pas déplacement global de la matière, on ne parle pas de vitesse mais de célérité que l'on note  $c$ .

**La célérité d'une onde dépend des propriétés physiques du milieu.**

### Exemple :

- Une onde sonore dans l'eau se propage plus vite que dans l'air ( $v=1500\text{m/s}$  dans l'eau alors que  $v=340\text{m/s}$  dans l'air).
- Une onde sur une corde se propage plus vite lorsque la masse linéique de celle-ci est .....

### Le retard $\tau$

Le retard  $\tau$  est la durée mise par l'onde pour se propager d'un point M à un point N. Il dépend donc de la distance entre les deux points et de la célérité de l'onde :

$$\tau = t_N - t_M =$$

## 2- Ondes progressives périodiques

### 2.1- Ondes progressives périodiques

Un signal qui se reproduit identique à lui-même à intervalle de temps régulier est dit périodique. On observe alors une périodicité temporelle et une périodicité spatiale

#### **\*\*Périodicité temporelle : période T**

On peut mesurer la période  $T$  d'un signal périodique (puis sa fréquence  $f$ ) à partir d'un enregistrement en fonction du temps.

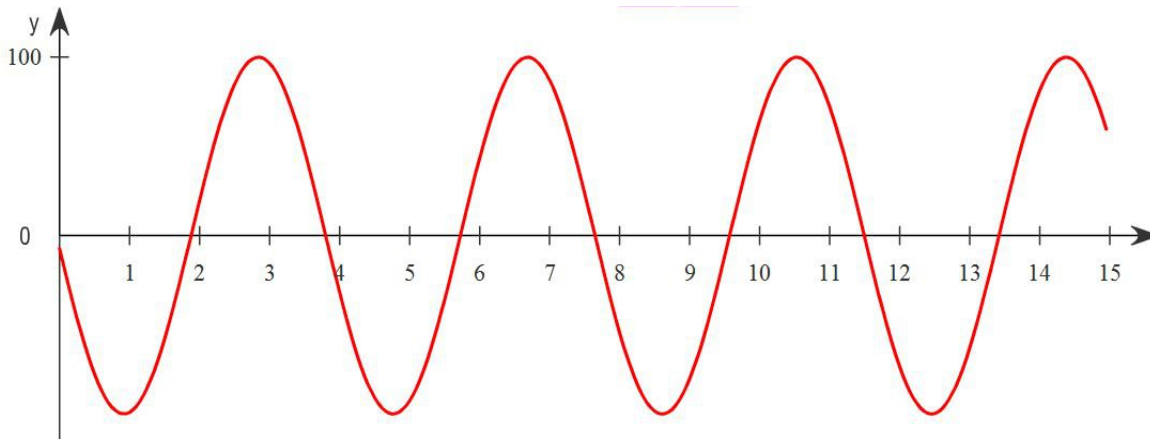
**Période  $T$**  : durée minimale pour laquelle l'onde redevient identique à elle-même. Elle s'exprime en s.

**Fréquence  $f$**  : nombre de période par unité de temps s'exprime en Hz.

Relation entre période et fréquence :

La fréquence est donc caractéristique de l'onde émise (donc de l'émetteur), elle ne varie pas lors de la propagation de l'onde.

Exemple pour un signal périodique sinusoïdal (quelle est la grandeur en abscisse?):



La période se mesure donc à partir d'un enregistrement EN UN POINT de l'espace et en regardant l'évolution de la perturbation périodique en fonction du temps.

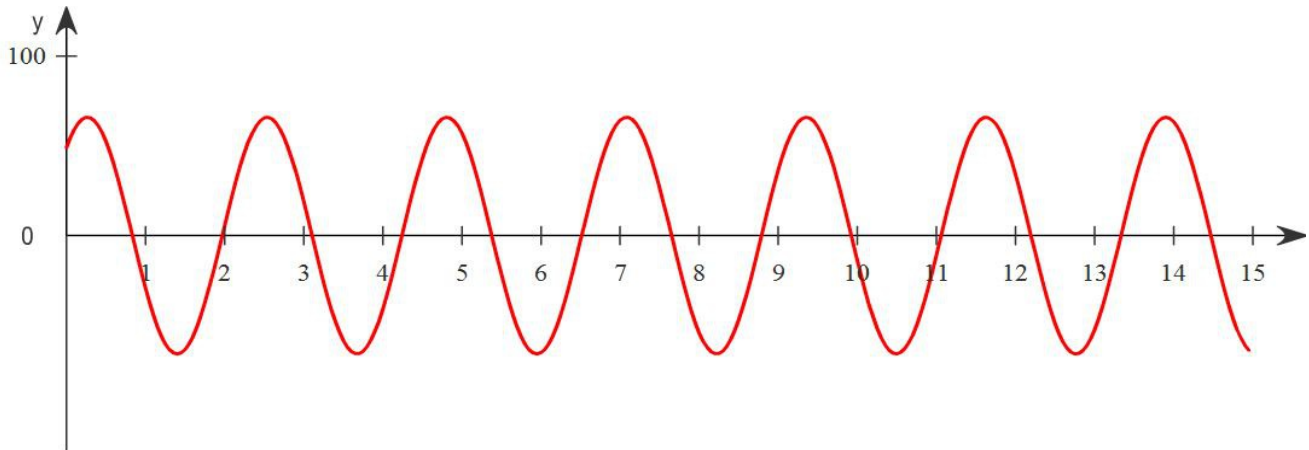
#### **\*\*Périodicité spatiale : Longueur d'onde ( $\lambda$ )**

On mesure la longueur d'onde en prenant une photo. On peut alors mesurer la période spatiale, appelée longueur d'onde, notée lambda ( $\lambda$ ).

**Longueur d'onde ( $\lambda$ )** : distance minimale pour laquelle l'onde redevient identique à elle-même. Elle s'exprime en m.

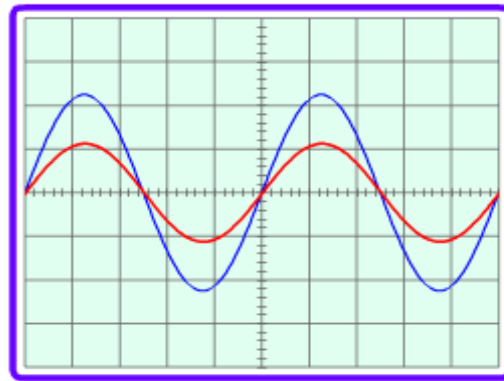
La longueur d'onde dépend du milieu, donc de la vitesse de propagation de l'onde

Exemple à partir d'un signal sinusoïdal (quelle est la grandeur en abscisse?):

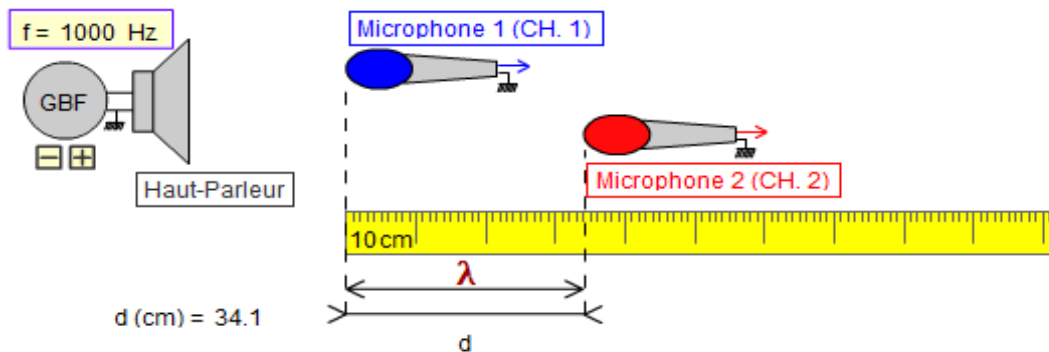


Autre exemple à partir d'un signal sonore :

<http://fpassebon.pagesperso-orange.fr/animations/son.swf>



$b = 0.2 \text{ ms/div}$



- la plus petite distance séparant 2 positions pour lesquelles les élongations sont en phase détermine la longueur d'onde : elles atteignent leur maximum et leur minimum d'élongation en même temps. Les positions éloignées de  $n \times \lambda$  ( $n$ : entier naturel) vibrent également en phase.

La relation entre la longueur d'onde  $\lambda$  et la période  $T$  d'une onde se propageant à la célérité  $c$  est :

## 2.2- Cas d'une onde sinusoïdale

Une onde sinusoïdale est un cas particulier de l'onde périodique. Toutes les ondes sinusoïdales sont périodiques. (mais toutes les ondes périodiques ne sont pas forcément sinusoïdale....)

- construction d'une sinusoïde :

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Elec/Fourier/fourier1.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Fourier/fourier1.html)

(cliquer sur sinus)

Une onde progressive périodique est sinusoïdale lorsqu'une grandeur physique  $u(t)$  de tous points du milieu de propagation est une fonction sinusoïdale du temps:

$$u(t) = U_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \varphi\right) = U_m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

$U_m$ : amplitude de la grandeur physique associée à l'onde

$T$ : périodicité temporelle de l'onde (seconde)

$t$ : instant en seconde (s)

$\varphi$  : phase à l'origine (valeur de l'angle à  $t = 0$  s)

- pour comprendre le rôle de chacun des paramètres  $\varphi$ , l'amplitude et la fréquence :

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/general/sinus.php](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/general/sinus.php)

Ex n°13-14 p51

(Ex n°26-30 p52)

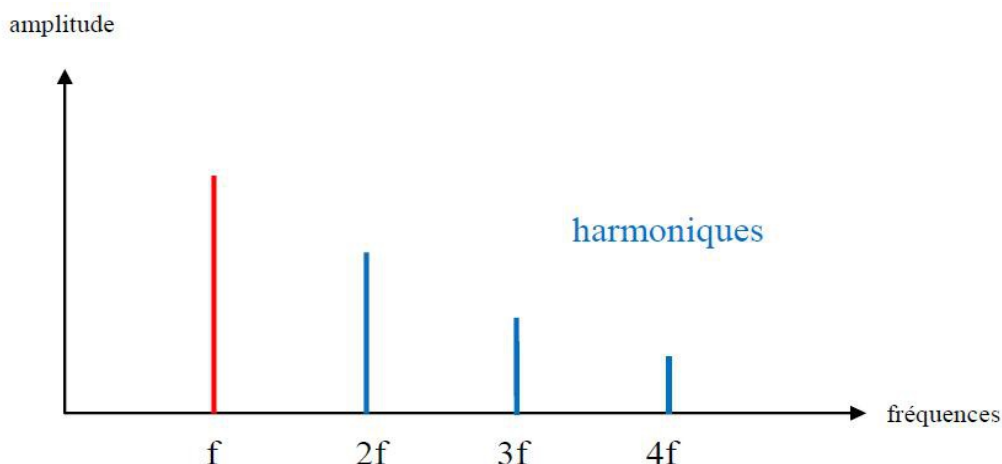
## 3- Analyse spectrales

L'intérêt de l'onde sinusoïdale, c'est que tout signal peut être décomposé en une somme d'ondes sinusoïdales de fréquence et d'amplitude différente. C'est la grande découverte de Joseph Fourier en 1822.

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Elec/Fourier/fourier1.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Fourier/fourier1.html)

### 3.1- Décomposition de Fourier

Décomposer un signal (en séries de Fourier) c'est donner toutes les fréquences des ondes sinusoïdales dont la somme permet de reconstituer ce signal. On le représente sur un graphique de l'amplitude en fonction de la fréquence des différentes harmoniques du son.



La fréquence la plus basse est appelée fréquence fondamentale ou harmonique de rang 1.

Les autres fréquences sont appelées harmoniques

On déduit chaque fréquence harmonique ( $f_n$ ) en multipliant la fréquence fondamentale ( $f$ ) par une valeur entière.  $f_n = n \cdot f$ .

## 3.2- Spectre d'un signal sonore

Un son pur (au sens idéal du terme) est un son qui n'est composé que d'une seule fréquence. En réalité, un son est composé d'un grand nombre de fréquences

Faire l'analyse spectrale d'un signal, c'est donner son spectre, c'est à dire toutes les fréquences et les amplitudes qui sont nécessaires pour recomposer ce signal.

### 3.2.1- Les 3 caractéristiques d'un son musical

**Les trois caractéristiques d'un son musical sont :**

- **La hauteur est la fréquence de son harmonique fondamentale.** Plus la fréquence est élevée plus le son est **aigu**. Plus la fréquence du fondamental est petite, plus le son est grave. Pour un son de fréquence 100 Hz, **100 fois par seconde la couche d'air revient à sa position initiale**. Il s'agit d'un son grave.

Le La3 (du diapason) a une fréquence de 440Hz.

Pour les musiciens : Lorsqu'on double la fréquence la hauteur du son est augmentée d'une octave. On aura donc le La1 à 110 Hz ; le La2 à 220 Hz et le La4 880 Hz.

Le lien avec la sensibilité de l'oreille humaine dont les sons sont perçus entre 20Hz - 20 000Hz :

20 40 80 160 320 640 1280 2560 5120 10240 20480 => 10 octaves

- **le niveau d'intensité sonore L mesurée en décibel** (dB), vu dans le chapitre précédent. A partir de 100 décibels, l'oreille est susceptible d'être détériorée!

- **le timbre** est caractérisé par le nombre d'harmoniques présentes et l'amplitude de chacune. Ainsi chaque instrument faisant la même note (même hauteur), n'ont pas le même timbre car ils sont composés d'harmoniques différentes.

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/son/analyseur.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/son/analyseur.html)

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/general/synthese.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/general/synthese.html)



**1- mesure de la vitesse de propagation d'une onde sur une corde**

1a- A partir de la vidéo : [http://www.ostralo.net/3\\_animations/swf/propag\\_corde.swf](http://www.ostralo.net/3_animations/swf/propag_corde.swf) mesurez la vitesse de propagation de cette onde en vous efforçant d'être le plus précis possible.

1b- Remarquez l'atténuation de l'onde. A votre avis, quelle en est l'origine ?

**2- mesure de la vitesse de l'onde sur la corde**

A partir du logiciel microméga Hatier, niveau TS, onde sur la corde

Choisir les paramètres par défaut : signal simple, masse linéique par défaut 100g/m, milieu amorti.

2a- Observez la position des 2 points colorés sur la corde : le rouge à droite, le bleu à gauche. Pourquoi dit-on que l'onde au point rouge est en retard sur l'onde en point bleu. Mesurez ce retard  $\tau$  et en déduire la vitesse de l'onde. Comment pouvez-vous augmenter la précision de la mesure de la célérité de l'onde ?

2b- Modifiez la masse linéique, comment évolue la vitesse ? (une réponse argumentée quantitative est attendue)

SUITE DU COURS

**3- onde progressive périodique****mesure de la période, fréquence de l'onde et de la longueur d'onde**

choisir signal périodique

3a- mesurer la période T.

Comment faire pour être le plus précis possible ici ?

En déduire la fréquence f.

La fréquence (ou la période) dépend-elle du milieu ? De la vitesse de propagation de l'onde ?

3b- mesurer la longueur d'onde  $\lambda$ .

En gardant la même fréquence que précédemment, pour 3 valeurs différentes de masse linéique, mesurer la longueur d'onde  $\lambda$ , la célérité de l'onde c et la période T.

Masse linéique	Longueur d'onde	célérité	période

La longueur d'onde dépend-elle de la masse linéique de la corde ? De la vitesse de propagation de l'onde ?

Quel lien existe-t-il entre longueur d'onde et période ?

SUITE DU COURS

#### 4- onde progressive sinusoïdale.

Une onde progressive périodique est sinusoïdale lorsqu'une grandeur physique  $u(t)$  de tous points du milieu de propagation est une fonction sinusoïdale du temps:

$$u(t) = U_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \varphi\right) = U_m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

$U_m$ : amplitude de la grandeur physique associée à l'onde

$T$ : périodicité temporelle de l'onde (seconde)

$t$ : instant en seconde (s)

$\varphi$  : phase à l'origine (valeur de l'angle à  $t = 0$  s)

Exemple de grandeur physique  $u(t)$ :

- l'élongation sur l'axe des  $y$  du point d'une corde notée  $y(t)$
- la tension électrique  $u(t)$  produite par un microphone qui capte un son de fréquence  $f$ .

**Animation de Mr Passebon** (<http://fpassebon.pagesperso-orange.fr/animations/son.swf>)

- la pression  $P(t)$  d'un point du milieu etc...

**Exercice:** tracer sur un graphique l'élongation  $y(t)$  d'une corde au cours du temps possédant les caractéristiques suivantes:

phase à l'origine  $\varphi = 0$ ; période  $T = 1,0$  s; amplitude  $Y_m = 20$  cm. On dessinera les points correspondant aux abscisses  $t = 0$  s;  $t = T/4$ ;  $t = T/2$ ;  $t = 3T/4$ ;  $t = T$ . Effectuer le même travail mais avec le tableur Excel en traçant les points toutes les 0,1 s.

Le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu est appelé onde progressive