

# CHAPITRE OS8

## Propagation d'un signal

## Problématique



FIGURE 1 : Émission, transmission et réception d'un son

**Question** : Comment faire pour qu'un étudiant écoute sur son portable à Bordeaux, une musique jouée sur un instrument dans un studio radio à Paris ?

# 1 Signal

## 1.1 Qu'est-ce qu'un signal ?

- Exemple
- Définition: **Signal**

## 1.2 Nature physique des signaux

### ➤ Exemples de signaux

Nature des signaux	Grandeurs physiques associées
Mécaniques	Position, vitesse, accélération
Acoustiques	Surpression, déformation, vitesse
Électromagnétiques	Champ électrique, champ magnétique
Électriques	Courant électrique, tension électrique
Optiques	Intensité lumineuse
Thermodynamiques	Température, pression

FIGURE 2 : Nature des signaux et grandeurs physiques associées

## ➤ Retour à la problématique

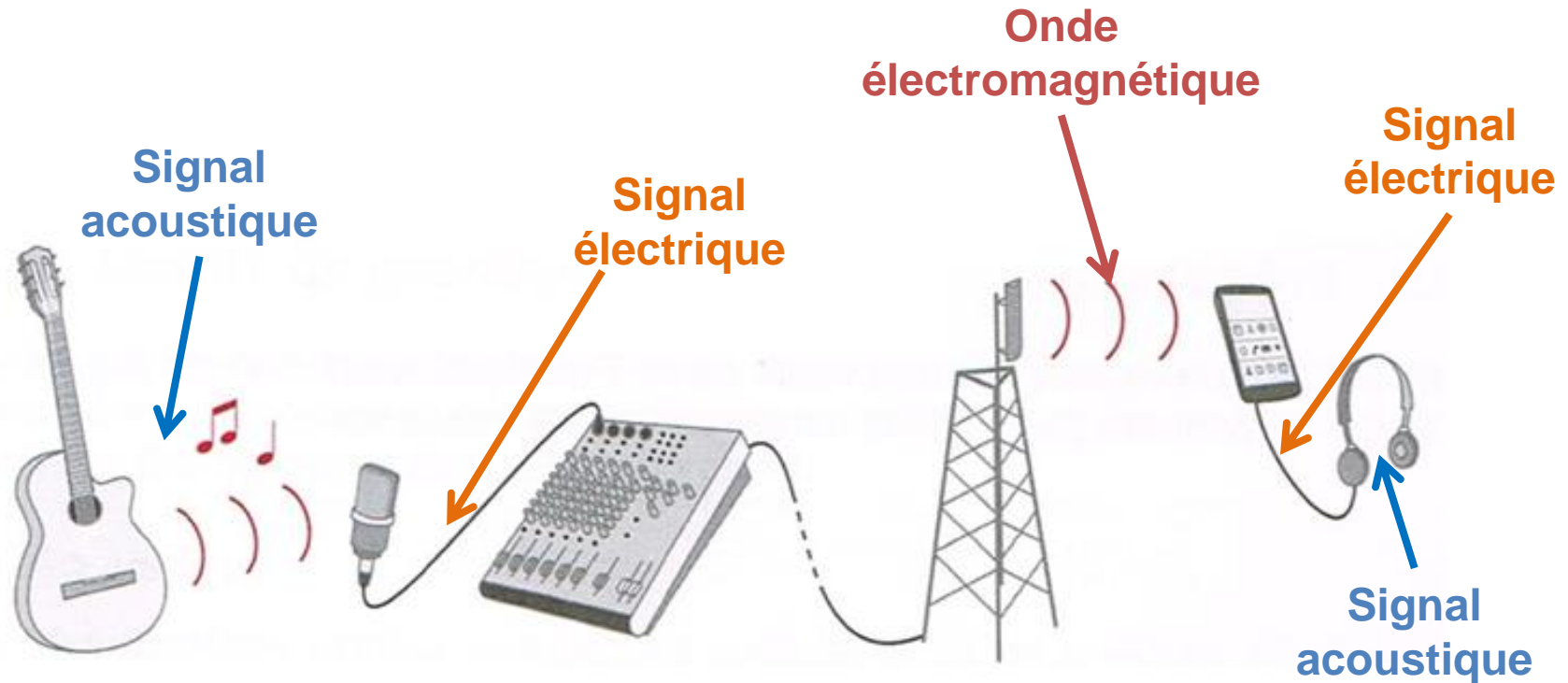


FIGURE 1 : Émission, transmission et réception d'un son

## Conclusion

Nature signal modifiée, ms information conservée

## 2 Phénomène de propagation

### 2.1 Observations expérimentales

#### ➤ Onde sonore dans l'air

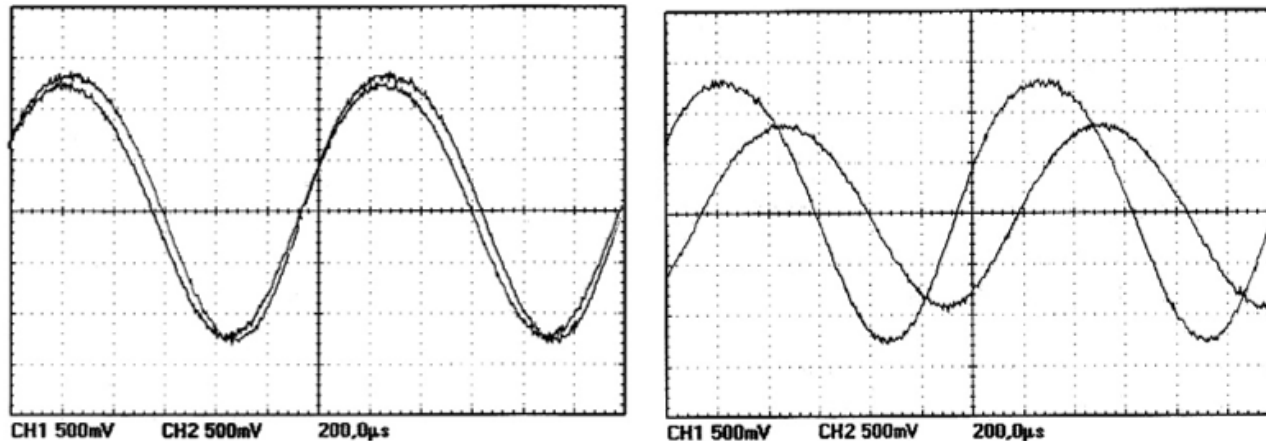
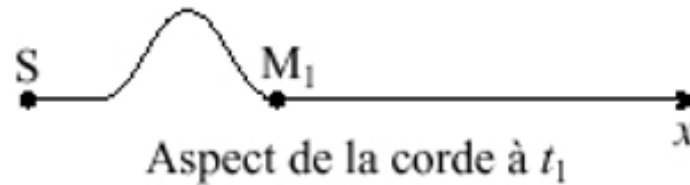


FIGURE 3 : Propagation d'une onde sonore dans l'air :

signaux fournis par deux micros, situés côte à côte (à gauche) ou distants (à droite)

➤ Onde élastique le long d'une corde



$t_2 - t_1$  est le retard de  $M_2$  sur  $M_1$ .

FIGURE 4 : Propagation d'une onde le long de la corde

➤ Onde mécanique à la surface de l'eau

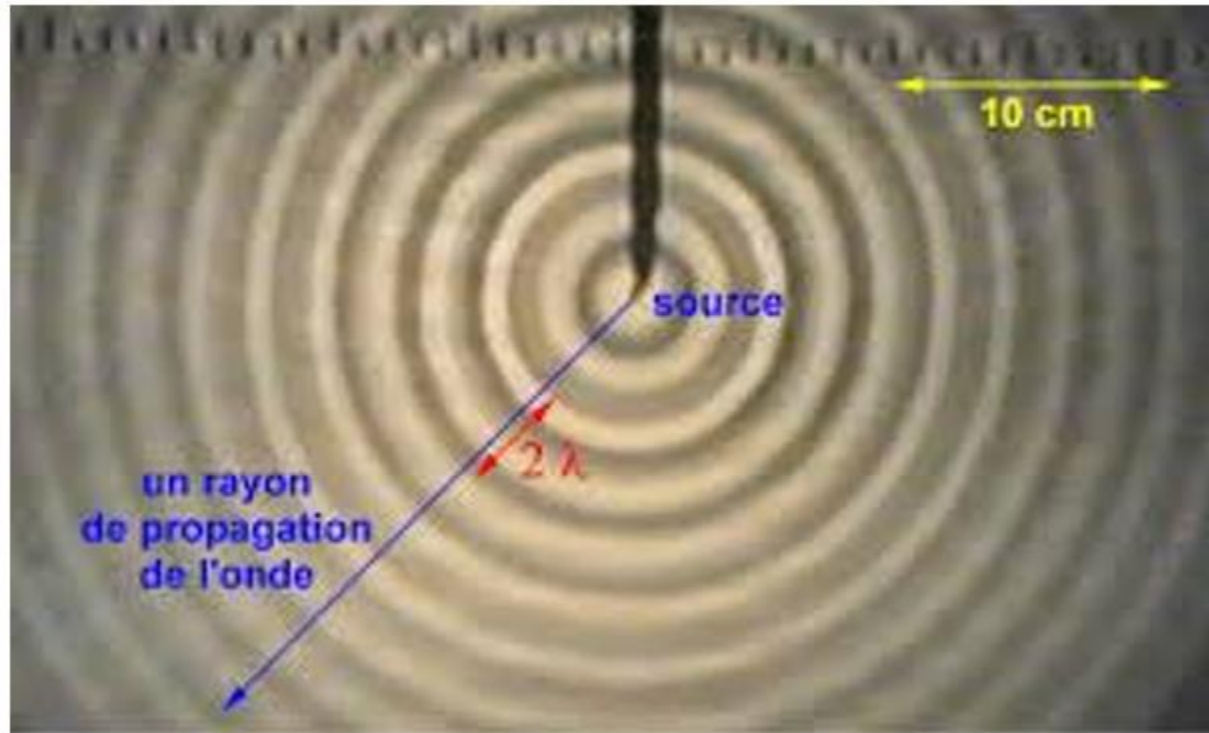


FIGURE 5 : Propagation d'une onde à la surface de l'eau



## 2.2 Qu'est-ce qu'une onde ?

### ➤ Définition : onde

perturbation locale se déplaçant ds l'espace

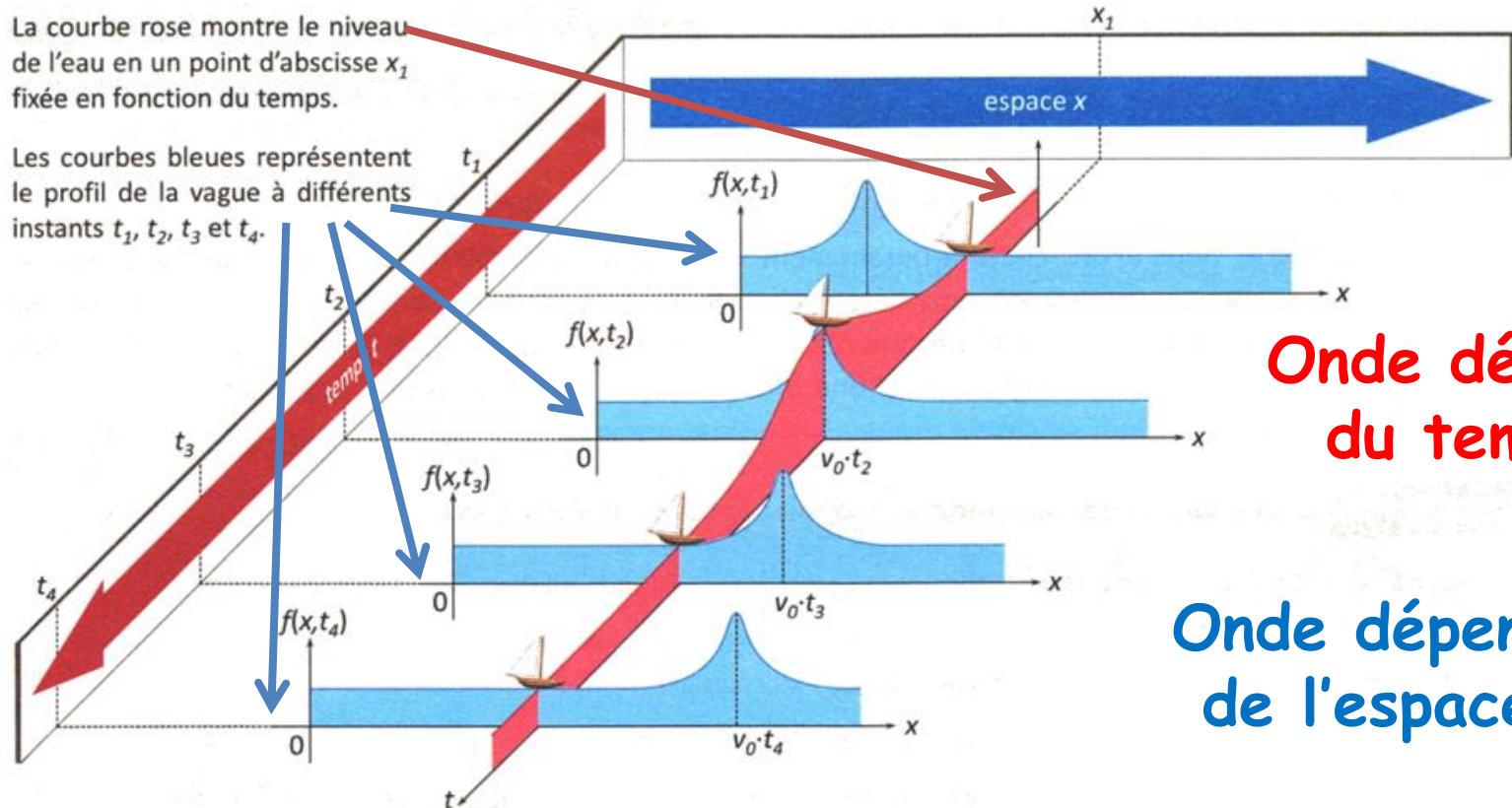
signal physique, transporté par l'onde

= grandeur vibrante

## ➤ Conséquence

La courbe rose montre le niveau de l'eau en un point d'abscisse  $x_1$  fixée en fonction du temps.

Les courbes bleues représentent le profil de la vague à différents instants  $t_1, t_2, t_3$  et  $t_4$ .



Onde dépend  
du temps

Onde dépend  
de l'espace

FIGURE 6 : Propagation d'une onde unidimensionnelle modélisée par une fonction de deux variables : abscisse et temps

## ➤ Propriété

Propaga° onde : transmission info à distance  
**= propaga° d'énergie sans transport de matière**

## ➤ Exemples de perturbations

- Onde sonore

**perturbation = surpression**

- Onde le long d'une corde

**perturbation = déformation verticale de la corde**

- Onde à la surface de l'eau

**perturbation = déformation verticale de la surf.  
de l'eau**

## 2.3 Nature d'une onde

👁 Animation 1 : Physique et simulations numériques / Mécanique /  
Propagations / Propagation des ondes

<http://subaru.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/meca/ondetran.html>

### ➤ Onde longitudinale

Définition :

Exemple

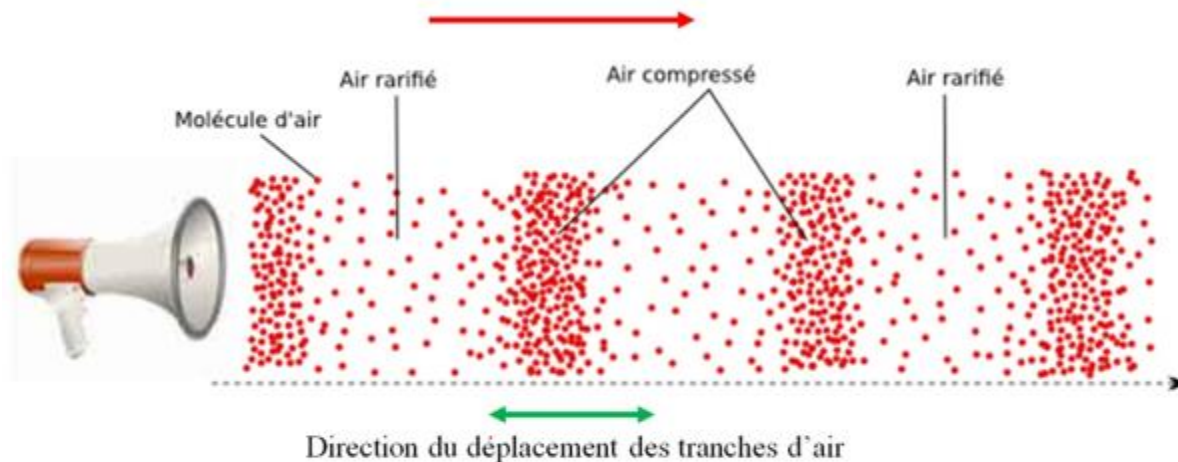


FIGURE 7 : Onde sonore longitudinale

## ➤ Onde transversale

### Définition :

### Exemple

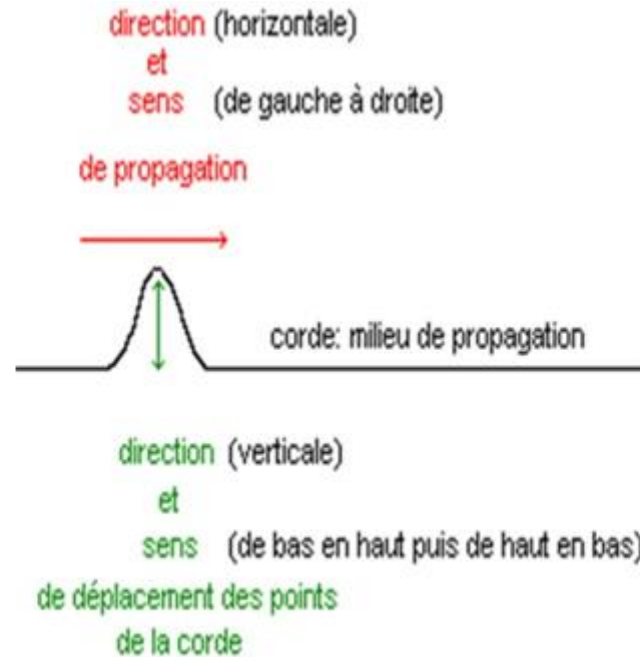


FIGURE 8 : Onde mécanique sur la corde : onde transversale

## 2.4 Milieu de propagation

Type d'onde	Milieu de propagation	Perturbation	Nature de l'onde
Onde sonore (acoustique)	Milieu matériel	Surpression (fluide) Vibration (solide)	Longitudinale
Onde élastique	Solide	Déplacement local réversible	Longitudinale Transversale
Onde électromagnétique	Vide ou air ou milieu matériel	Champ électromagnétique	Transversale

FIGURE 9 : Exemples d'ondes et milieux de propagation associés

- Éq. de propagation unique : éq de d'Alembert
- Retour à la problématique

## 3 Onde progressive

### 3.1 Vitesse de propagation ou célérité

➤ Définition :

➤ Modèle de l'onde progressive unidimensionnelle non dispersive

$s(x, t)$  représente la valeur du signal,  
mesurée à l'abscisse  $x$  à l'instant  $t$ .



➤ Conditions de validité du modèle

- Milieu de propagation **transparent**
- Milieu **illimité**
- Milieu **non dispersif**

## 3.2 Expressions d'une onde progressive en fonction du retard temporel

➤ Onde se propageant dans le sens des  $x$  croissants

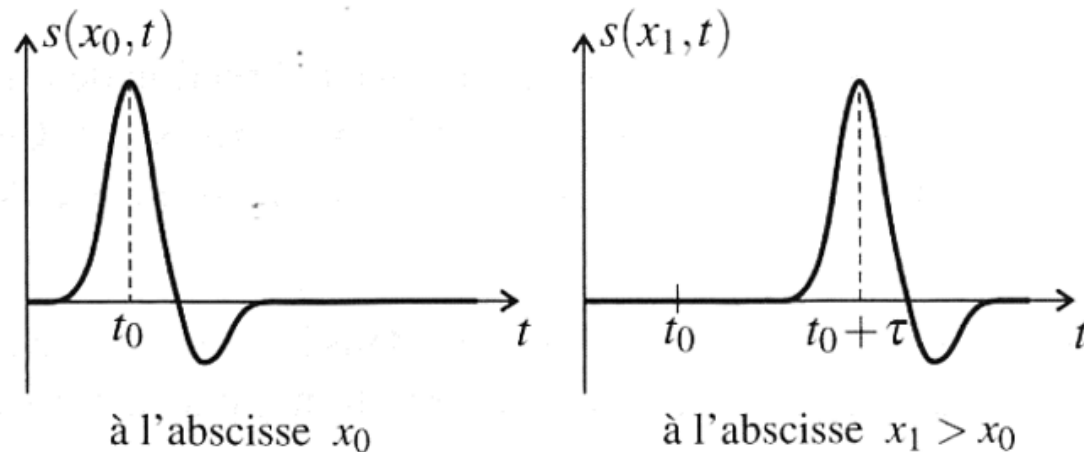


FIGURE 10 : Onde se propageant dans le sens positif de l'axe ( $Ox$ ) en deux abscisses différentes

**Propriété :**  $s(x, t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$  2 variables  $\Rightarrow$  1 variable



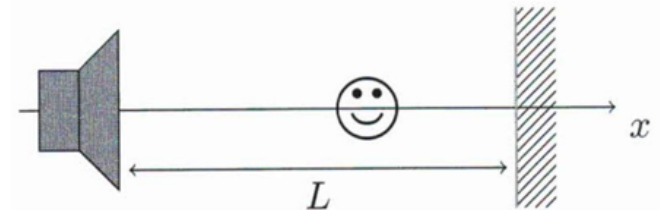
➤ Onde se propageant dans le sens des  $x$  décroissants

Propriété :

$$s(x, t) = g\left(t + \frac{x}{c}\right)$$

➤ Exercice d'application 1

Un haut-parleur, placé à l'abscisse  $x = 0$ , émet une onde acoustique. Un auditeur se trouve à l'abscisse  $x$ , et un mur à l'abscisse  $L$ , avec  $L > x$ . L'onde se réfléchit sur le mur. Elle se propage à la vitesse  $c$ . Deux ondes arrivent sur l'auditeur. Déterminer les deux retards temporels.



## 3.3 Expressions d'une onde progressive en fonction du décalage spatial

➤ Onde se propageant dans le sens des  $x$  croissants

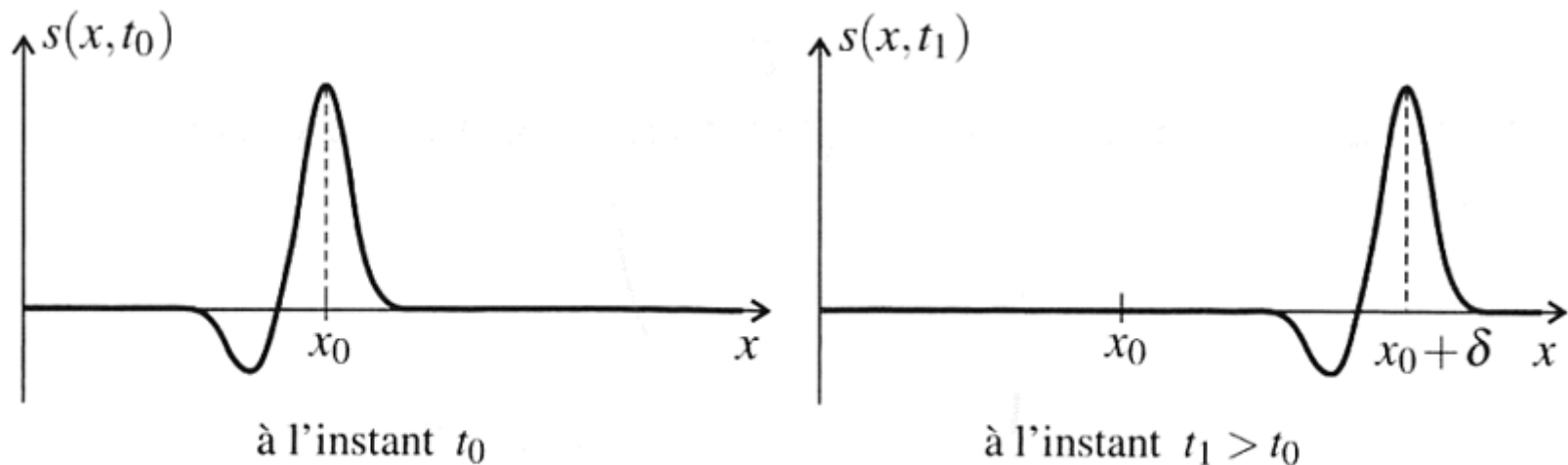


FIGURE 11 : Onde se propageant dans le sens positif de l'axe ( $Ox$ ) en deux instants différents

**Propriété :**

$$s(x, t) = F(x - ct)$$

2 variables  
⇒ 1 variable

➤ Onde se propageant dans le sens des  $x$   
décroissants

Propriété :

$$s(x, t) = G(x + ct)$$

## 4 Onde progressive sinusoïdale (harmonique) (OPH)

Cas d'1 onde prog. sinus. se propageant dans le sens positif de l'axe ( $Ox$ ), sans atténuation ni déformation

### 4.1 Qu'est-ce qu'une OPH?

➤ Expression de la grandeur vibratoire

**Définition**

$$s(x, t) = A_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$



$A_0$  : amplitude,  $\omega$  : pulsation,  $\varphi_0$  : phase à l'origine

$$k = \frac{\omega}{c}$$

Vecteur d'onde (rad/m)

$$c = \frac{\omega}{k}$$

Vitesse de propaga° = vitesse de phase (m/s)

## 4.2 Double-périodicité

### ➤ Phase de l'onde

$$\phi = \omega t - kx + \phi_0$$

Double périodicité : temporelle et spatiale

### ➤ Périodicité temporelle

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

### ➤ Périodicité spatiale

$$k = 2\pi\sigma = \frac{2\pi}{\lambda}$$

🕒 Animation 2 : Physique et simulations numériques / Mécanique /  
Propagations / Onde progressive transversale

<http://subaru.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/meca/ondeprog.html>

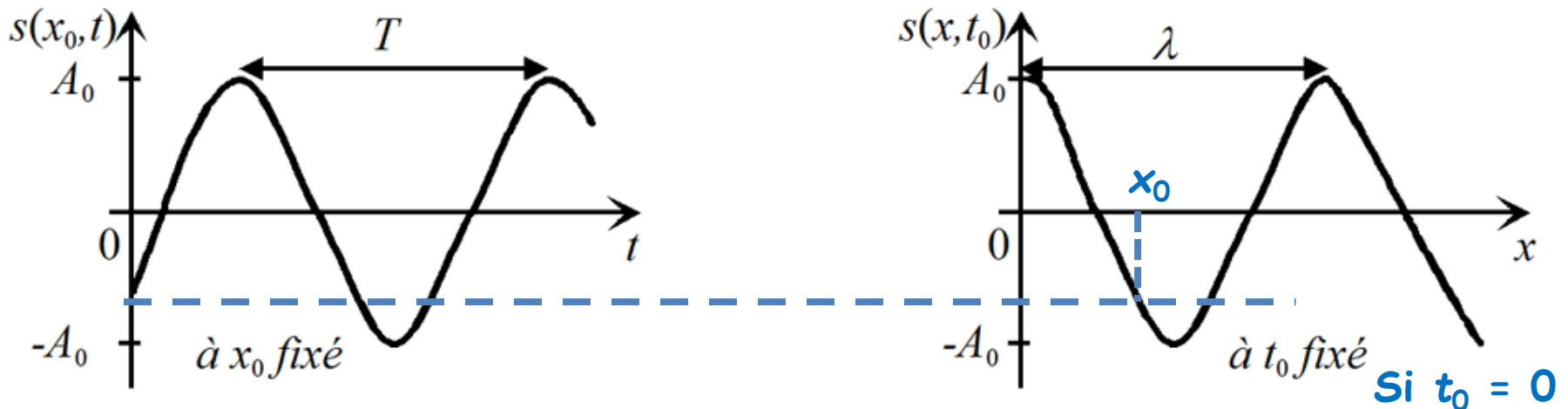


FIGURE 12 : Double périodicité de l'onde progressive harmonique

## Définition

$$s(x, t) = A_0 \cos \left( 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right)$$



$T$  : période temporelle et  $\lambda$  : longueur d'onde

## 4.3 Vitesse de phase

### ➤ Vibration en phase

$$t_1 - t_0 = \frac{k}{\omega} (x_1 - x_0)$$

$$\Delta t = \frac{1}{c} \Delta x$$

phase de l'OPH se propage à la célérité

$$c = \frac{\omega}{k}$$

⇒ vitesse de phase

### ➤ Relation entre les périodes spatiale et temporelle

$$\Delta t = \frac{\lambda}{c} = T$$

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$



## 4.4 Déphasage entre les vibrations en deux points

### ➤ Expression du déphasage

- En fonction du décalage spatial
- En fonction du retard temporel

$$\varphi(x_1) - \varphi(x_0) = -\frac{2\pi}{\lambda}(x_1 - x_0)$$

$$\varphi(t_1) - \varphi(t_0) = -\frac{2\pi}{T}(t_1 - t_0)$$

### ➤ Vibration en phase

$$x_0 - x_1 = p\lambda \text{ et } t_0 - t_1 = pT \quad (p \text{ entier relatif})$$

### Propriété



### ➤ Vibration en opposition de phase

$$x_0 - x_1 = \left(p + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ et } t_0 - t_1 = \left(p + \frac{1}{2}\right)T \quad (p \text{ entier relatif})$$

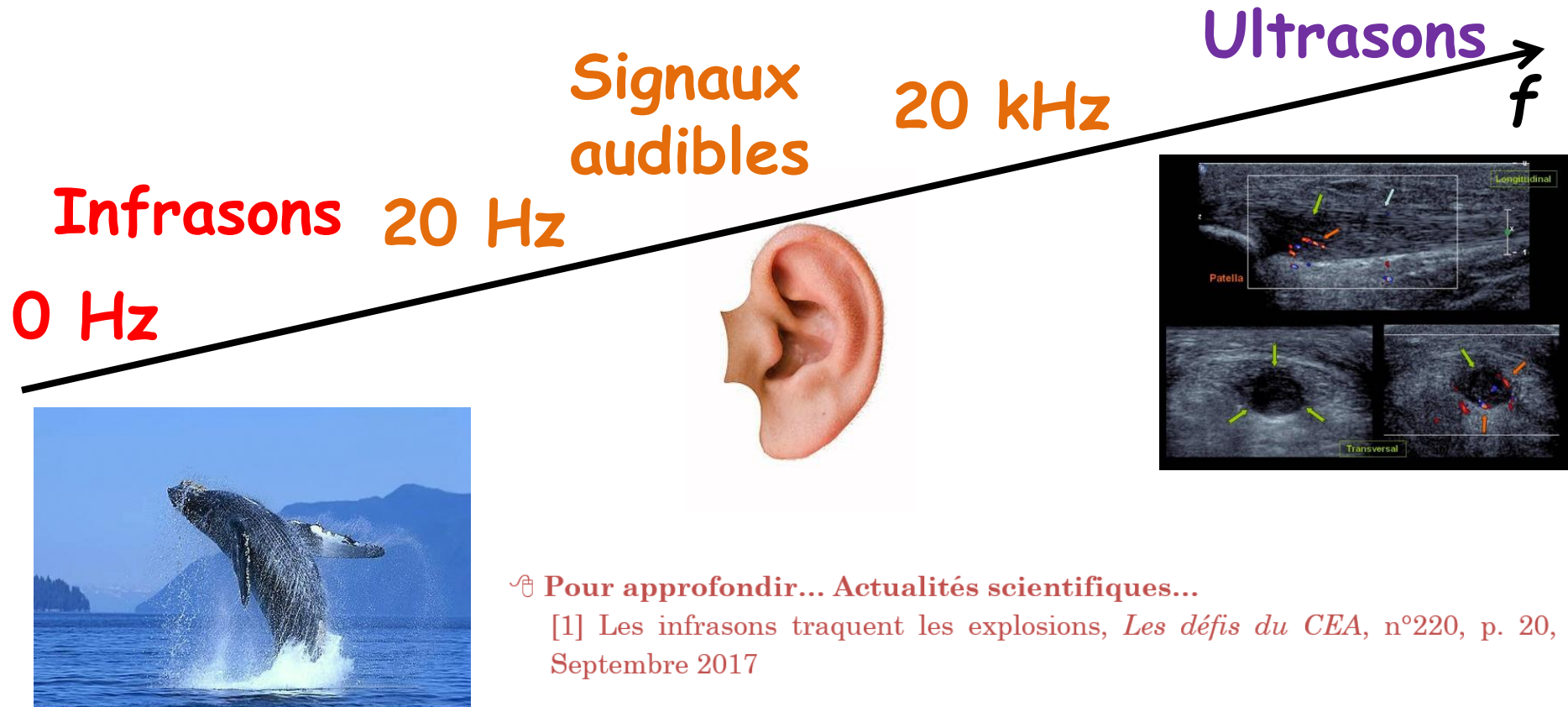
### Propriété





## 4.5 Ordres de grandeur des fréquences

### ➤ Signaux acoustiques



📖 Pour approfondir... Actualités scientifiques...

[1] Les infrasons traquent les explosions, *Les défis du CEA*, n°220, p. 20, Septembre 2017

## ➤ Signaux mécaniques

[2] B. Romanowicz, Imagerie globale de la Terre par les ondes sismiques, *Reflets de la Physique*, n°56, p 4-9, Janvier 2018

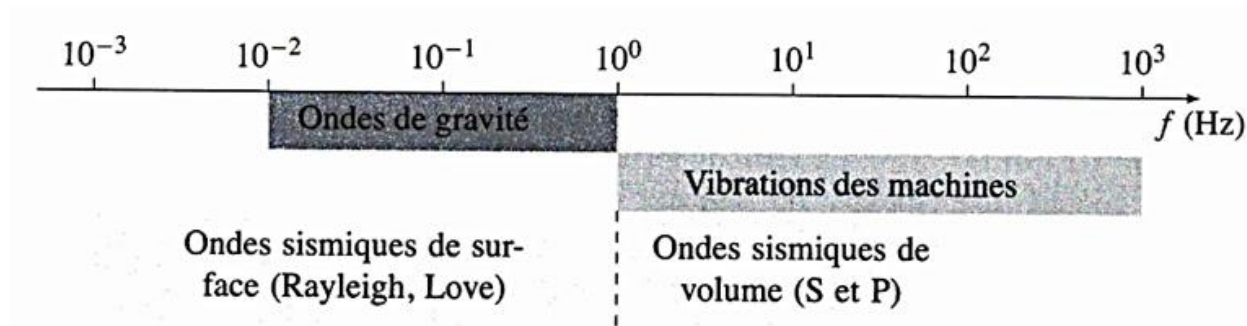


FIGURE 13 : Exemples de fréquences d'ondes mécaniques

## ➤ Signaux électromagnétiques

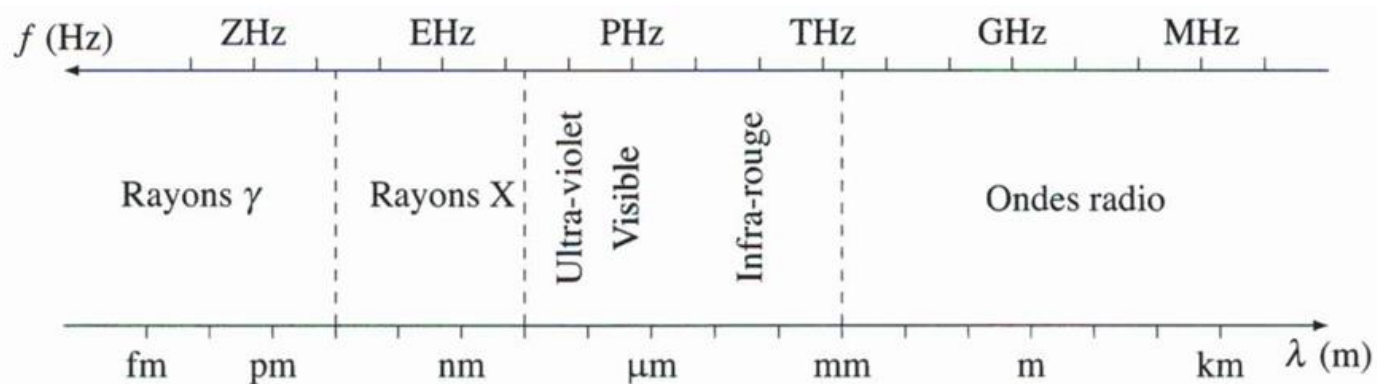


FIGURE 14 : Exemples de fréquences d'ondes électromagnétiques

[3] E. Lemaitre *et al.*, L'Univers en technicolor, *Les défis du CEA*, n°237, Encart, Mai 2019

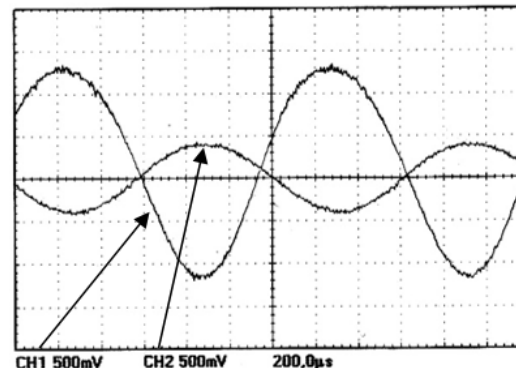
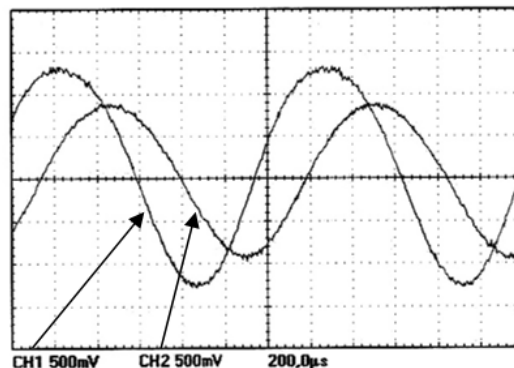
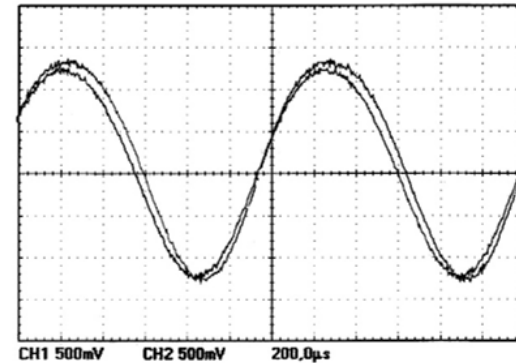
## 4.6 Caractéristiques d'une onde sonore

➤ Exercice d'application 2 : étude de l'onde sonore expérimentale

On considère les tensions délivrées par deux microphones, un fixe au point  $O$  et l'autre mobile au point  $M$ , captant une onde progressive sinusoïdale émise par un haut-parleur.

Lorsque les deux microphones sont placés en  $O$ , on observe la figure ci-contre.

Les deux figures ci-dessous représentent les tensions délivrées par le premier microphone en  $O$  (CH1) et le second microphone (CH2), situé en deux points d'abscisses différentes : abscisse  $x_1$  inconnue pour la figure de gauche et  $x_2 = 21$  cm pour la figure de droite.



1. Quelle est la fréquence  $f$  de l'onde ?
2. Déterminer à partir des oscillogrammes la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde sonore et en déduire sa vitesse de propagation  $c$ .
3. Déterminer l'abscisse  $x_1$ .

## 4.7 Détermination de l'expression d'une OPH

### ➤ Méthode

#### ➤ Exercice d'application 3

Soit un axe  $(Ox)$  sur lequel sont placés un point  $B$ , d'abscisse  $x_B = d > 0$  et un point  $M$  d'abscisse  $0 < x < d$ . Pour chacun des quatre cas, exprimer le signal  $s(x, t)$  pour un signal émis quelconque, puis lorsqu'il s'écrit  $f(t) = A \cos(\omega t)$ .

- a) Onde connue en  $O$  se propageant dans le sens des  $x$  croissants
- b) Onde connue en  $O$  se propageant dans le sens des  $x$  décroissants
- c) Onde connue en  $B$  se propageant dans le sens des  $x$  croissants
- d) Onde connue en  $B$  se propageant dans le sens des  $x$  décroissants

