φ 1 : Propagation d'un signal dans un milieu homogène, illimité, non dispersif et transparent

Ondes et signaux

Plan

I **Signal physique : definition et paramètres** **2**
Qu'est-ce qu'un signal physique ? • Fréquence d'un signal • Cas particulier d'un signal sinusoïdal

II **Propagation des ondes** **5**
Une onde : définition • Célérité d'une onde • Onde progressive • Cas particuliers d'une onde progressive sinusoïdale : la double périodicité

III **Les ondes sismiques** **9**
Caractéristiques des ondes sismiques • Localisation d'un épicentre par la détection des ondes sismiques

Capacités exigibles

Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux mécaniques, acoustiques, électriques et sismiques.
Obtenir l'expression de la célérité par analyse dimensionnelle à partir des grandeurs physiques fournies.
Interpréter l'influence de ces grandeurs physiques sur la célérité.
Citer les valeurs de la célérité du son dans l'air et dans l'eau dans les conditions usuelles.
Exploiter la relation entre la distance parcourue par le signal, le retard temporel et la célérité.
Exploiter des données pour localiser l'épicentre d'un séisme.
Exploiter une représentation graphique donnant l'amplitude du signal en fonction du temps en un point donné, ou en fonction de la position à un instant donné.
Exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.
Citer les limites en termes de fréquences du spectre audible par l'être humain.

Documents

TD-φ 1
TP-φ 1 et 2

Exercices

♥ : Ex. 1
★ : Ex.
★★ : Ex.
★★★ : Ex.

I Signal physique : definition et paramètres

A) Qu'est-ce qu'un signal physique ?

Définition 1 : Signal physique

✔ Exemple

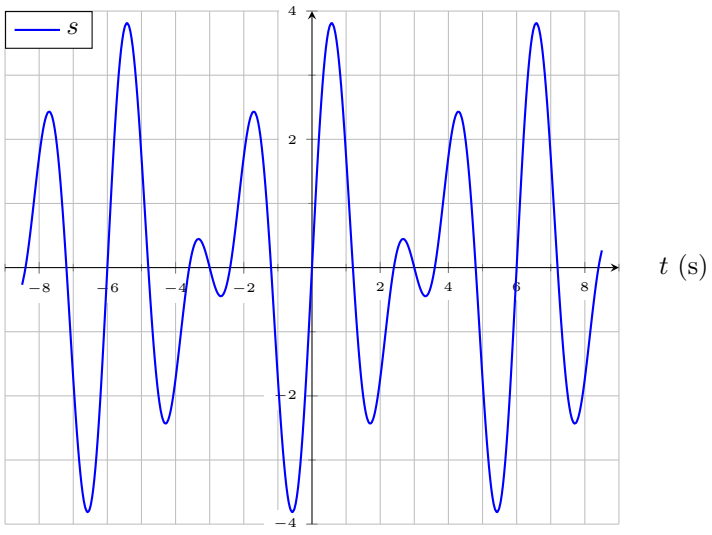
On peut citer :

- signal sonore, constitué de vibrations d'un milieu matériel,
- signaux de télécommunications, constitué d'ondes électromagnétiques,
- signal électrique ...

B) Fréquence d'un signal

Définition 2

Signal (U.S.I)



✔ Exemple

Quelques ordres de grandeurs à connaître :

- signaux acoustiques audibles : $\nu \in [20\text{ Hz}, 20\text{ kHz}]$;
- transport de l'énergie électrique sur les lignes HT françaises : $\nu \approx 50$ Hz ;
- ondes lumineuses visibles : $\nu \approx 10^{14}$ Hz ;
- signaux de téléphonie mobile : $\nu \approx 10^{9}$ Hz.

C) Cas particulier d'un signal sinusoïdal

Définition 3 : Signal sinusoïdal

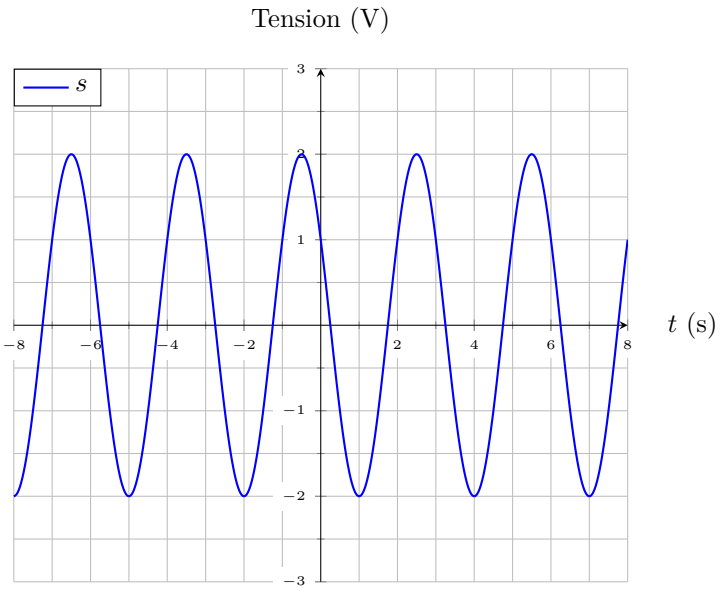
Attention : si le sens physique de la pulsation est le même que pour une fréquence, leurs valeurs numériques sont différentes tout comme leurs unités !

Remarque

En réalité tout signal (même apériodique) peut s'écrire sous la forme d'une somme de fonctions sinusoïdales. On appelle alors **spectre** le relevé de l'ensemble des fréquences qui caractérise le signal en leur attribuant à chacune un « poids ».

Exercice 1

Donner les paramètres d'amplitude, de période, de pulsations, et de phase à l'origine du signal électrique suivant :



Capacités numériques

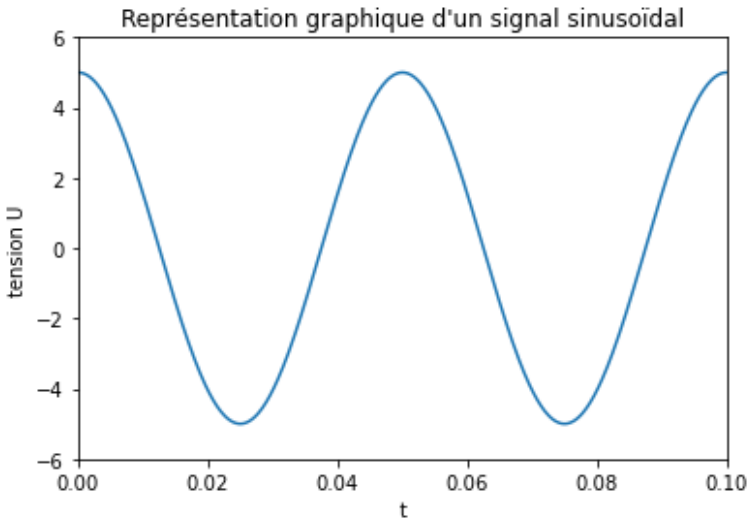
Code pour obtenir un signal sinusoïdal :

```
import math
from matplotlib import pyplot

#CARACTÉRISTIQUES :
tmax=0.1 #durée du signal (sur l'axe des abscisses). Modifiable
T=0.05 #période (s). Modifiable
omega=2*math.pi/T #pulsation. omega = rapport du "tour complet" (2*pi) par la durée nécessaire pour le parcourir = "vitesse angulaire" (rad/s)
phi=math.pi/2 #phase à l'origine (rad). Modifiable
Umax=5 #amplitude. Modifiable

repere = pyplot.axes(xlim=(0, tmax), ylim=(-6, 6))
repere.set_xlabel('t')
repere.set_ylabel('tension U')
repere.set_title("Représentation graphique d'un signal sinusoïdal")

n=500 #nombre d'intervalles (n+1 points). Modifiable (augmenter si la courbe n'est pas assez 'lisse')

t=[k*tmax/n for k in range(n+1)] #liste des n+1 valeurs de t [0,n] (axe des
```

```
    abscisses)
19  U=[Umax*math.sin(omega*t+phi) for t in t] #calcul des n+1 valeurs de U (
    ordonnées). Une tension, mais cela pourrait être une intensité, une
    élongation...
20
21  repere.plot(t,U)
22  pyplot.show()
```

signalsinusoide.py

Résultat après lecture du code par l'interface Python :



II Propagation des ondes

A) Une onde : définition

Définition 4 : Onde

B) Célérité d'une onde

Pour définir la célérité d'une onde, il faut aborder la notion de retard temporel. En effet, un perturbation ne passe pas instantanément d'un point A à un point B, il y a un délai noté $\Delta t = t_B - t_A$ appelé **retard**. On notera d la distance qui sépare les points A et B.

Schéma :

Définition 5 : Vitesse de groupe d'une onde

— La célérité v d'une onde est la valeur de sa vitesse de propagation définie par le rapport entre la distance d de propagation entre deux points A et B par le retard Δt :

— La célérité d'une onde dépend **UNIQUEMENT** du milieu dans lequel l'onde se propage.

✔ Exemple

Quelques valeurs de célérité du son dans différents milieux dans les conditions normales de température et de pression soi à $T = 273,15$ K et $P = 1,013$ bar :

Milieu de propagation du son	célérité en m · s^{-1}
Air (♥)	340
Eau (♥)	1480
Glace	3200
Verre	5300
Acier	≈ 5800

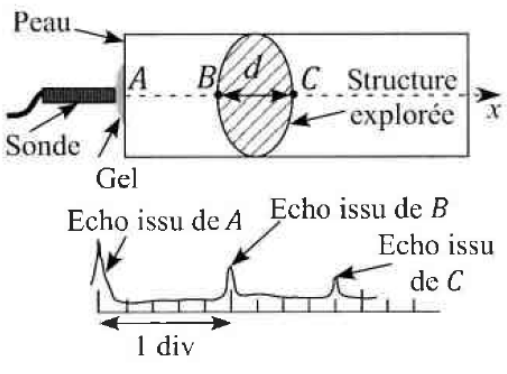
(♥ : valeur à connaître par coeur, non redonnée en DS ou en colles)

Exercice 2

Echographie embryonnaire

Lors d'une échographie, la sonde émet une série d'ultra-sons de très courte durée selon la direction (Ox). La même sonde enregistre les échos renvoyés selon la même direction (Ox), par les surfaces de séparation des différents milieux rencontrés. Évaluer la distance d.

Données : 1 div $= 50\,\mu$s ; vitesse de propagation des ultrasons dans l'organisme : $c = 1,5 \cdot 10^3$ m · s^{-1}.



Réponse :

C) Onde progressive

Soit x l'abscisse le long de la corde. Au temps t=0, on impose un petit ébranlement $s_0(x)$ qui va se propager dans la direction des x croissants. Ce signal est donc le signal émis au point O de la corde et peut être décrit par une fonction du temps : soit $s_0(x) = f(x)$.

Schémas à $t = 0$ et à t :

Propriété 1 : Forme mathématique d'une onde progressive

Une onde progressive $s(x,t)$ se propageant selon les x croissants s'écrit sous la forme :

Remarque

Une onde progressive $s(x,t)$ se propageant selon les x décroissants s'écrit sous la forme :

$$s(x,t) = g(x + c \cdot t)$$

avec c la célérité de l'onde,
g une fonction mathématique quelconque.

D) Cas particuliers d'une onde progressive sinusoïdale : la double périodicité

Propriété 2 : Double périodicité d'une onde progressive sinusoïdale

- **Périodicité temporelle, à abscisse x fixée** :
  La perturbation, pour une abscisse x, est une fonction sinusoïdale du temps t, de période T et d'amplitude S_{max} :

- **Périodicité spatiale, à t fixée** :
  La perturbation, à un instant t, est une fonction sinusoïdale de x, de période λ, appelée longueur d'onde et d'amplitude S_{max}.

Une **onde progressive sinusoïdale** se propageant dans le sens des x croissants s'écrit mathématiquement sous la forme :

Cette onde est **doublement périodique** :

Propriété 3 : Vitesse de phase

> **Remarque**
>
> Dans le cas de ce chapitre, comme les milieux étudiés sont **non dispersifs**, c'est-à-dire que la vitesse de phase ne dépend pas de la longueur d'onde, la **vitesse de groupe** et la **vitesse de phase** sont égales.

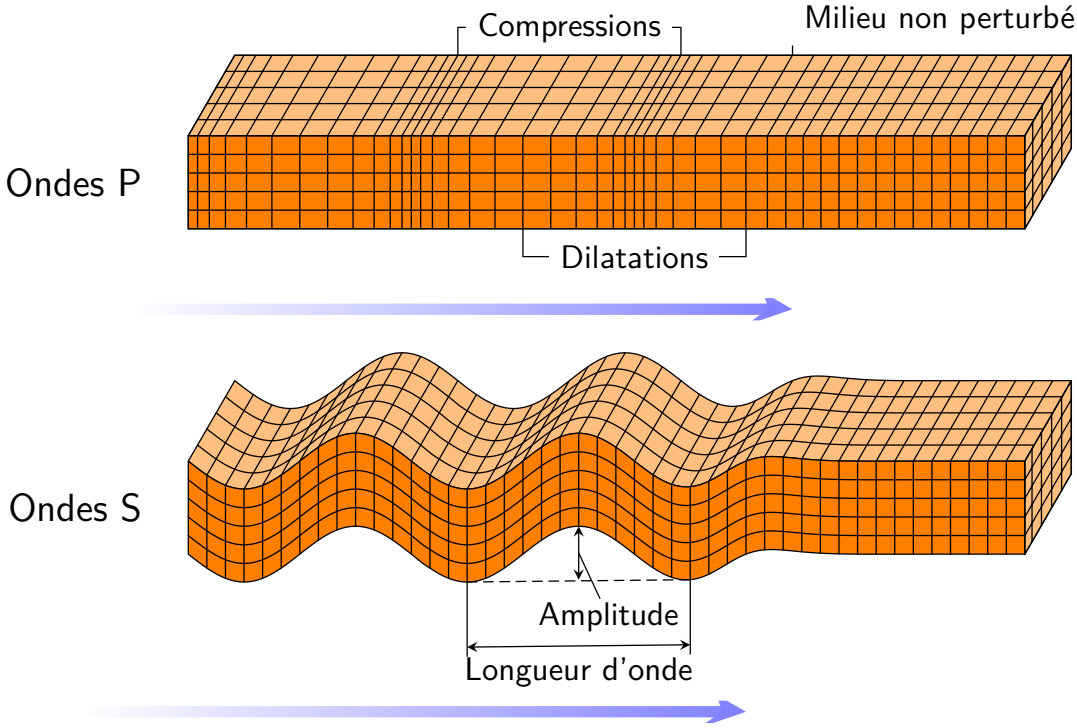
III Les ondes sismiques

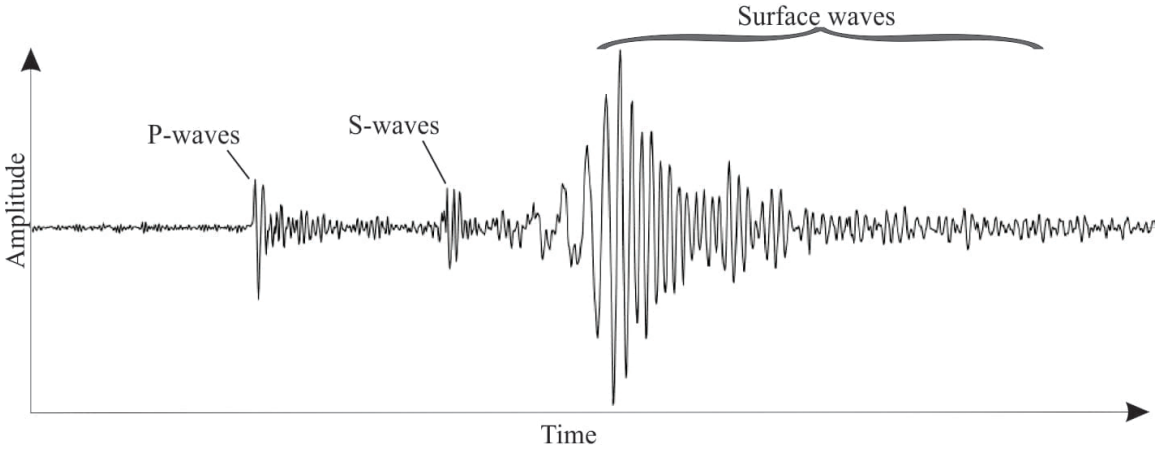
Les séismes sont des événements redoutés par l'espèce humaine car ils sont associés à des destructions massives et imprévisibles. Pourtant un réseau de surveillance existe et détecte à l'échelle planétaire les vibrations du sol dont la plupart sont, heureusement, inoffensives.

A) Caractéristiques des ondes sismiques

Il existe deux grands types d'ondes sismiques :

- Les **ondes P** sont aussi appelées **ondes longitudinales**. La vibration du sol se fait par des dilatations et des compressions successives. Ces perturbations se déplacent parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Les ondes P se propagent dans les milieux solides ainsi que dans les liquides.
- Les **ondes S** sont aussi appelées **ondes transversales**. À leur passage, les perturbations du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Les ondes S ne se propagent que dans les milieux solides.



B) Localisation d'un épicentre par la détection des ondes sismiques

Lorsqu'un séisme se produit, les ondes sismiques ne sont pas forcément détectées par l'être humain, mais elles peuvent être suivies par les nombreux sismographes situés sur la Terre dans des stations de surveillance sismique. Un sismographe traditionnel est constitué d'un bâti fixe et d'un pendule qui réagit aux secousses. Le dispositif permet de transcrire les secousses enregistrées sous forme d'une courbe tracée si le mécanisme est mécanique, ou sous forme de données informatiques pour les sismographes numériques modernes.