Propagation d'un signal

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

lundi 9 décembre 2024

Propagation d'un signal

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

lundi 9 décembre 2024

- différents phénomènes physiques peuvent servir de support à un signal

- différents phénomènes physiques peuvent servir de support à un signal
- ils diffèrent par :

- différents phénomènes physiques peuvent servir de support à un signal
- ils diffèrent par :
  - le milieu de propagation

- différents phénomènes physiques peuvent servir de support à un signal
- ils diffèrent par :
  - le milieu de propagation
  - la gamme de fréquences pertinentes

- différents phénomènes physiques peuvent servir de support à un signal
- ils diffèrent par :
  - le milieu de propagation
  - la gamme de fréquences pertinentes

- différents phénomènes physiques peuvent servir de support à un signal
- ils diffèrent par :
  - le milieu de propagation
  - la gamme de fréquences pertinentes

Définition (Signal)

Un signal est la variation temporelle et/ou spatiale d'une ou de plusieurs grandeurs physiques.

Signaux acoustiques

Qu’est-ce que le son ?

Signaux acoustiques

Définition (Signal acoustique)

Un signal acoustique correspond à la variation conjointe de la pression et de la vitesse des constituants du milieu

Signaux acoustiques

Définition (Signal acoustique)

Un signal acoustique correspond à la variation conjointe de la pression et de la vitesse des constituants du milieu

Signaux acoustiques

Définition (Signal acoustique)

Un signal acoustique correspond à la variation conjointe de la pression et de la vitesse des constituants du milieu

- propagation dans un milieu matériel : air, liquide, solide

Signaux acoustiques

Définition (Signal acoustique)

Un signal acoustique correspond à la variation conjointe de la pression et de la vitesse des constituants du milieu

- propagation dans un milieu matériel : air, liquide, solide
- faible vitesse d'ensemble aux molécules (quelques $\mu\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$), s'ajoutant à leur vitesse d'agitation thermique désordonnée (centaines de $\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ dans l'air)

Signaux acoustiques

Définition (Signal acoustique)

Un signal acoustique correspond à la variation conjointe de la pression et de la vitesse des constituants du milieu

- propagation dans un milieu matériel : air, liquide, solide
- faible vitesse d'ensemble aux molécules (quelques $\mu m \cdot s^{-1}$), s'ajoutant à leur vitesse d'agitation thermique désordonnée (centaines de $m \cdot s^{-1}$ dans l'air)
- faible surpression ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa) s'ajoutant à la pression ambiante ($1\,\text{bar} = 1 \cdot 10^{5}$ Pa)

Signaux électromagnétiques

Qu'est-ce qu'un signal radio/télé/téléphone mobile ?

Définition (Signal électromagnétique)

Un signal électromagnétique correspond à la variation conjointe des champs électrique et magnétique.

Signaux électromagnétiques

Qu'est-ce qu'un signal radio/télé/téléphone mobile ?

Définition (Signal électromagnétique)

Un signal électromagnétique correspond à la variation conjointe des champs électrique et magnétique.

- peut se propager dans le vide, contrairement aux ondes acoustiques
- recouvrent également la lumière, les rayons X, γ, les micro-ondes

Signaux électriques

Qu'est-ce qu'un signal ADSL, téléphone filaire ?

Signaux électriques

Qu'est-ce qu'un signal ADSL, téléphone filaire ?

Définition (Signal électrique)

Un signal électrique correspond à la variation conjointe de la tension et de l'intensité du courant dans un circuit

Signaux électriques

Qu'est-ce qu'un signal ADSL, téléphone filaire ?

Définition (Signal électrique)

Un signal électrique correspond à la variation conjointe de la tension et de l'intensité du courant dans un circuit

- se propage dans un milieu conducteur électrique

Signaux électriques

Qu'est-ce qu'un signal ADSL, téléphone filaire ?

Définition (Signal électrique)

Un signal électrique correspond à la variation conjointe de la tension et de l'intensité du courant dans un circuit

- se propage dans un milieu conducteur électrique
- cas particulier d'ondes électromagnétiques

Ordres de grandeur

Ordres de grandeur de fréquences très différents

Ordres de grandeur

mécanique	sismique gravitationnelle acoustique (audible)	$1\,\text{Hz} \to 100\,\text{Hz}$ $10\,\text{Hz} \to 400\,\text{Hz}$ $20\,\text{Hz} \to 20\,\text{kHz}$	LIGO2015
électromagnétique	hertzien	$1\cdot 10^{4}\,\text{Hz} \to 1\cdot 10^{11}\,\text{Hz}$	antennes télécom, µ-ondes
	infrarouge	$1\cdot 10^{12}\,\text{Hz} \to 1\cdot 10^{13}\,\text{Hz}$	chauffage, laser, observation nocture
	visible	$1\cdot 10^{14}\,\text{Hz}$	
	ultraviolet	$1\cdot 10^{15}\,\text{Hz} \to 1\cdot 10^{17}\,\text{Hz}$	analyse chimique
	X	$1\cdot 10^{17}\,\text{Hz} \to 1\cdot 10^{21}\,\text{Hz}$	radiothérapie, imagerie médicale et industrielle
	γ	$1\cdot 10^{21}\,\text{Hz} \to \ldots$	physique nucléaire, radioactivité, gammascopie, radiothérapie
électrique	basse fréquence	$\to 1\cdot 10^{6}\,\text{Hz}$	en TP
	haute fréquence :	$\to 1\cdot 10^{11}\,\text{Hz}$	pour l'émission/réception des ondes hertziennes

1. Signaux

2. Ondes unidimensionnelles

3. Diffraction

4. Interférences

Le long d'un tuyau

Le long d'un tuyau

- le signal est le déplacement transverse par rapport à la position au repos

Le long d'un tuyau

- le signal est le déplacement transverse par rapport à la position au repos
- on fait apparaître une déformation dans une région

Le long d'un tuyau

- le signal est le déplacement transverse par rapport à la position au repos
- on fait apparaître une déformation dans une région
- on la voit apparaître ailleurs, plus tard : elle s'est propagée

Onde mécanique progressive

Définition (Onde mécanique progressive)

Une onde mécanique progressive est une perturbation d'un milieu matériel s'y propageant sans déplacement global de matière

Onde mécanique progressive

Définition (Onde mécanique progressive)

Une onde mécanique progressive est une perturbation d'un milieu matériel s'y propageant sans déplacement global de matière

Cas du tuyau :

Onde mécanique progressive

Définition (Onde mécanique progressive)

Une onde mécanique progressive est une perturbation d'un milieu matériel s'y propageant sans déplacement global de matière

Cas du tuyau :

- le tuyau ne fait que monter et descendre globalement

Onde mécanique progressive

Définition (Onde mécanique progressive)

Une onde mécanique progressive est une perturbation d'un milieu matériel s'y propageant sans déplacement global de matière

Cas du tuyau :

- le tuyau ne fait que monter et descendre globalement
- la perturbation est ici transverse par rapport à la direction de propagation

Autres exemples

- ressort (slinky)

Autres exemples

- ressort (slinky)
  - le signal est le déplacement d'une spire par rapport à sa position au repos

Autres exemples

- ressort (slinky)
  - le signal est le déplacement d'une spire par rapport à sa position au repos
  - ondes transverses

Autres exemples

- ressort (slinky)
  - le signal est le déplacement d'une spire par rapport à sa position au repos
  - ondes transverses
  - ou ondes longitudinales (comme pour le son dans l'air)

Autres exemples

- ressort (slinky)
  - le signal est le déplacement d'une spire par rapport à sa position au repos
  - ondes transverses
  - ou ondes longitudinales (comme pour le son dans l'air)
- échelle de perroquet

Autres exemples

- ressort (slinky)
  - le signal est le déplacement d'une spire par rapport à sa position au repos
  - ondes transverses
  - ou ondes longitudinales (comme pour le son dans l'air)
- échelle de perroquet
  - le signal est l'angle de rotation d'une tige par rapport à sa position au repos

Autres exemples

- ressort (slinky)
  - le signal est le déplacement d'une spire par rapport à sa position au repos
  - ondes transverses
  - ou ondes longitudinales (comme pour le son dans l'air)
- échelle de perroquet
  - le signal est l'angle de rotation d'une tige par rapport à sa position au repos
  - onde transverse

Variations spatiale et temporelle

cas d'une perturbation quasi instantanée à $t = 0$ au point O

Variations spatiale et temporelle

cas d'une perturbation quasi instantanée à $t = 0$ au point O

- animation

Variations spatiale et temporelle

cas d'une perturbation quasi instantanée à $t = 0$ au point O

- animation
- un point M reçoit l'ébranlement avec un retard $\Delta t(M)$

Variations spatiale et temporelle

cas d'une perturbation quasi instantanée à $t = 0$ au point O

- animation
- un point M reçoit l'ébranlement avec un retard $\Delta t(M)$
- on observe ici que Δt est proportionnel à la distance OM

Variations spatiale et temporelle

cas d'une perturbation quasi instantanée à $t = 0$ au point O

- animation
- un point M reçoit l'ébranlement avec un retard $\Delta t(M)$
- on observe ici que Δt est proportionnel à la distance OM
- la propagation est caractérisée par une vitesse, nommée célérité

Variations spatiale et temporelle

Définition (Célérité d'une onde et sens de propagation)

Une onde se propage à la célérité c si les évolutions temporelles des perturbations notées y_A et y_B en deux points A et B points vérifient :

$$y_B(t) = y_A(t - \frac{AB}{c}) \quad \text{ou : } y_A(t) = y_B(t - \frac{AB}{c}).$$

Le premier (resp. deuxième) cas correspond à une propagation de A vers B (resp. de B vers A).

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t=0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t=0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air :

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air :

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t=0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air : $3{,}4\cdot 10^{2}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ (le tonnerre est en retard sur la foudre)
- dans l'eau :

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air : $3{,}4 \cdot 10^2\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (le tonnerre est en retard sur la foudre)
- dans l'eau :

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air : $3{,}4 \cdot 10^2\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (le tonnerre est en retard sur la foudre)
- dans l'eau : $1{,}5 \cdot 10^3\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- dans l'acier :

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air : $3{,}4 \cdot 10^2\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (le tonnerre est en retard sur la foudre)
- dans l'eau : $1{,}5 \cdot 10^3\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- dans l'acier :

Variations spatiale et temporelle

- pour un ébranlement commençant à $t = 0$ en O, pas de perturbation à t aux points pour lesquels $OM > ct$
- on se limite au propagations non dispersives : c est une constante quelle que soit la fréquence, la « forme » de l'onde est conservée
- ordres de grandeur très différents
- pour les ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- pour les ondes électriques du même ordre
- pour les ondes sonores dans l'air : $3{,}4 \cdot 10^2\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (le tonnerre est en retard sur la foudre)
- dans l'eau : $1{,}5 \cdot 10^3\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- dans l'acier : $6 \cdot 10^3\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y
- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est

repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y

- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est

repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y

- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

on peut observer

- en M l'évolution de ξ en fonction du temps (capteur local)

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est

repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y

- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

on peut observer

- en M l'évolution de ξ en fonction du temps (capteur local)
- à chaque instant la valeur de ξ pour l'ensemble des M (photographie)

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est

repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y

- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

on peut observer

- en M l'évolution de ξ en fonction du temps (capteur local)
- à chaque instant la valeur de ξ pour l'ensemble des M (photographie)
- on utilise le champ des perturbations $\xi(x,t)$, fonction des deux variables x et t

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est

repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y

- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

on peut observer

- en M l'évolution de ξ en fonction du temps (capteur local)
- à chaque instant la valeur de ξ pour l'ensemble des M (photographie)
- on utilise le champ des perturbations $\xi(x,t)$, fonction des deux variables x et t
  - $\xi(x,t_0)$ photographie de l'onde (retard)

Champ des perturbations

- on se limite à une onde unidimensionnelle : chaque point M est

repéré son abscisse x, la grandeur variant au point x est notée y

- cas du tuyau/corde, la perturbation est la variation de y par rapport à la position au repos y_0

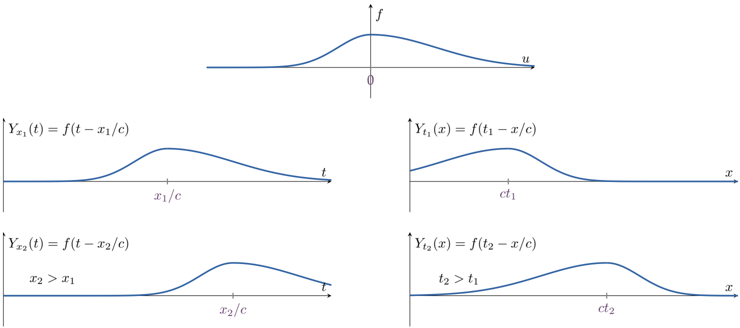
$$\xi = y - y_0$$

- on choisira si possible $y_0 = 0$ soit $\xi = y$

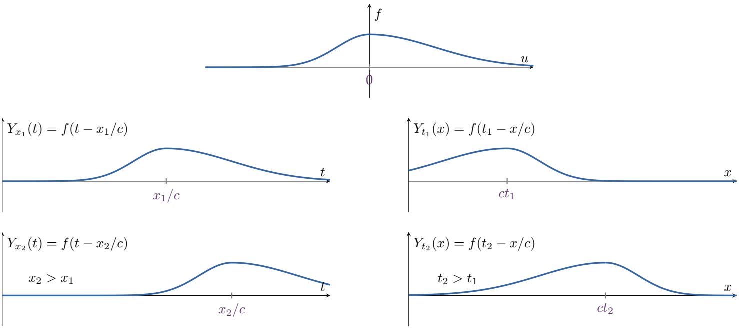
on peut observer

- en M l'évolution de ξ en fonction du temps (capteur local)
- à chaque instant la valeur de ξ pour l'ensemble des M (photographie)
- on utilise le champ des perturbations $\xi(x,t)$, fonction des deux variables x et t
  - $\xi(x,t_0)$ photographie de l'onde (retard)
  - $\xi(x_0,t)$ évolution temporelle en un point (évolution temporelle)

Profils

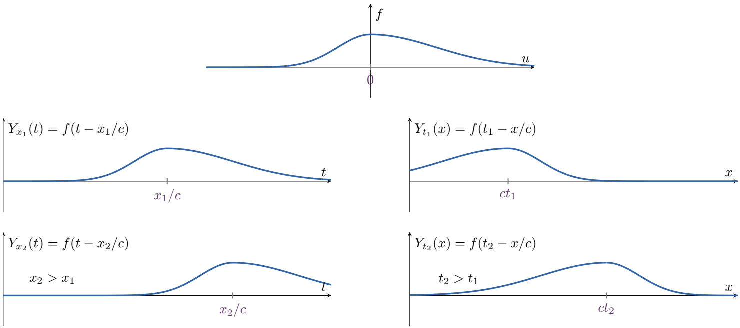

f
u
0
$Y_{x_1}(t) = f(t - x_1/c)$
t
x_1/c
$Y_{t_1}(x) = f(t_1 - x/c)$
x
ct_1
$Y_{x_2}(t) = f(t - x_2/c)$
$x_2 > x_1$
t
x_2/c
$Y_{t_2}(x) = f(t_2 - x/c)$
$t_2 > t_1$
x
ct_2

Profils



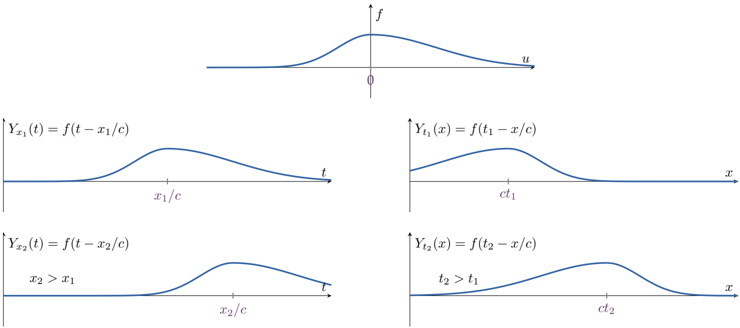
- durée de propagation de x_1 à x_1 ?

Profils



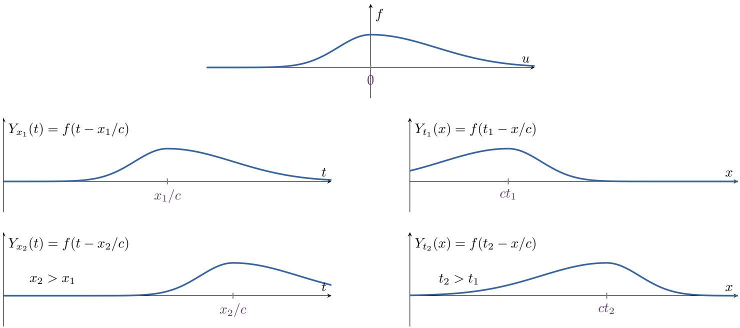
- durée de propagation de x_1 à x_1 ? $(x_2 - x_1)/c$

Profils



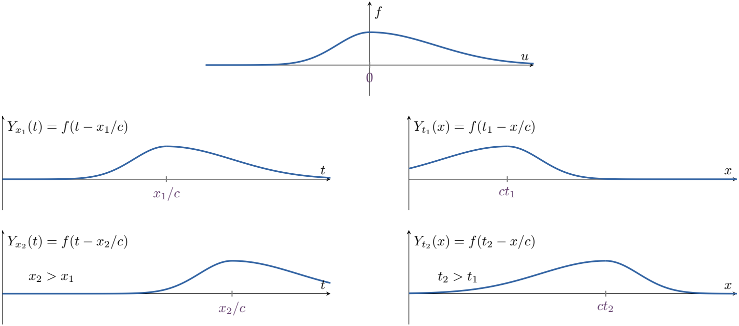
- durée de propagation de x_1 à x_1 ? $(x_2 - x_1)/c$
- distance entre les points atteints à t_2 à t_1 ?

Profils



- durée de propagation de x_1 à x_1 ? $(x_2 - x_1)/c$
- distance entre les points atteints à t_2 à t_1 ? $c(t_2 - t_1)$

Profils



- durée de propagation de x_1 à x_1 ? $(x_2 - x_1)/c$
- distance entre les points atteints à t_2 à t_1 ? $c(t_2 - t_1)$

la même fonction mathématique d'1 variable permet de représenter les variations spatiale et temporelle de l'excitation en tout point

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c.

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

- f est donnée par les conditions aux limites :

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

- f est donnée par les conditions aux limites :
  - par exemple une excitation à une extrémité variant temporellement

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

- f est donnée par les conditions aux limites :
  - par exemple une excitation à une extrémité variant temporellement
  - par exemple une déformation de l'ensemble initiale d'un système abandonné à lui même

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

- f est donnée par les conditions aux limites :
  - par exemple une excitation à une extrémité variant temporellement
  - par exemple une déformation de l'ensemble initiale d'un système abandonné à lui même
  - exemples de porte, rampe, cloche

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

- f est donnée par les conditions aux limites :
  - par exemple une excitation à une extrémité variant temporellement
  - par exemple une déformation de l'ensemble initiale d'un système abandonné à lui même
  - exemples de porte, rampe, cloche
- pour pouvoir se propager (sans déformation) ξ doit être solution d'une équation d'onde, caractéristique du phénomène étudié

Forme générale

pour une onde progressive dans le sens des x croissants il faut :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x'-x}{c}$$

on vérifie que pour toute fonction f d'une variable, la fonction de deux variables $\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right)$ décrit la propagation sans déformation d'une perturbation à la célérité c. on peut également choisir de l'écrire : $\xi(x,t) = g(x - ct)$.

- f est donnée par les conditions aux limites :
  - par exemple une excitation à une extrémité variant temporellement
  - par exemple une déformation de l'ensemble initiale d'un système abandonné à lui même
  - exemples de porte, rampe, cloche
- pour pouvoir se propager (sans déformation) ξ doit être solution d'une équation d'onde, caractéristique du phénomène étudié
- pour un milieu non dispersif et linéaire, toute déformation peut se propager : toutes les fonctions f sont admissibles, avec la même célérité c

Ondes régressives et généralisation

- propagation dans le sens des x décroissants :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x - x'}{c}$$

Ondes régressives et généralisation

- propagation dans le sens des x décroissants :

$$\xi(x,t) = \xi(x',t') \quad \text{si} \quad t' = t + \frac{x - x'}{c}$$

- revient à changer $c \to -c$

Ondes régressives et généralisation

Champ de perturbation d'une onde de célérité c

Le signal associé à une onde se propageant unidimensionnellement dans un milieu linéaire et non dispersif à la célérité c est de la forme

$$f(x-ct) \quad \text{ou} \quad g\left(t-\frac{x}{c}\right)$$

dans le cas d'une onde progressive se propageant vers les x croissants
ou de la forme

$$f(x+ct) \quad \text{ou} \quad g\left(t+\frac{x}{c}\right)$$

dans le cas d'une onde régressive se propageant vers les x décroissants.

Ondes régressives et généralisation

1. Tracer le profil d'une perturbation y décrite par une fonction $f(u)$
   a. croissante de $f = 0$ à $f = y_0$ de $u = 0$ à $u = \tau > 0$
   b. nulle partout ailleurs
2. Déterminer l'expression de $y = \xi(x,t)$ décrivant une onde de célérité c en propagation unidimensionnelle progressive de direction x telle que la perturbation en $x = 0$ croît de $y = 0$ à $y = y_0$ quand t croît de 0 à τ.
3. En déduire les allures de :
   a. $\xi(x = 0, t)$ et $\xi(x_1, t)$ pour $x_1 > 0$;
   b. $\xi(x, t = 0)$ et $(\xi(x, t = t_1)$ pour $t_1 > \tau$
4. Même question pour une propagation régressive (et $x_1 < 0$).

Source ponctuelle dans les cas 2D et 3D

Source ponctuelle

La perturbation créée au point M et à l'instant t par une source ponctuelle située au point O se met sous la forme :

$$\xi = a(OM) f(t - \frac{OM}{c}),$$

dans laquelle, même en l'absence de phénomènes dissipatifs, l'amplitude $a(OM)$ décroît avec la distance OM pour les cas 2D et 3D

Source ponctuelle dans les cas 2D et 3D

Source ponctuelle

La perturbation créée au point M et à l'instant t par une source ponctuelle située au point O se met sous la forme :

$$\xi = a(OM) f(t - \frac{OM}{c}),$$

dans laquelle, même en l'absence de phénomènes dissipatifs, l'amplitude $a(OM)$ décroît avec la distance OM pour les cas 2D et 3D

- on utilise la distance OM et non plus une abscisse x

Source ponctuelle dans les cas 2D et 3D

Source ponctuelle

La perturbation créée au point M et à l'instant t par une source ponctuelle située au point O se met sous la forme :

$$\xi = a(OM) f(t - \frac{OM}{c}),$$

dans laquelle, même en l'absence de phénomènes dissipatifs, l'amplitude $a(OM)$ décroît avec la distance OM pour les cas 2D et 3D

- on utilise la distance OM et non plus une abscisse x
- progressive à droite et régressive à gauche sur un axe

Source ponctuelle dans les cas 2D et 3D

Source ponctuelle

La perturbation créée au point M et à l'instant t par une source ponctuelle située au point O se met sous la forme :

$$\xi = a(OM) f(t - \frac{OM}{c}),$$

dans laquelle, même en l'absence de phénomènes dissipatifs, l'amplitude $a(OM)$ décroît avec la distance OM pour les cas 2D et 3D

- on utilise la distance OM et non plus une abscisse x
- progressive à droite et régressive à gauche sur un axe
- l'amplitude de la perturbation décroît avec la distance en $1/\sqrt{r}$ à 2D (surface de l'eau par ex.), en $1/r$ à 3D (son par ex.)

Source ponctuelle dans les cas 2D et 3D

Source ponctuelle

La perturbation créée au point M et à l'instant t par une source ponctuelle située au point O se met sous la forme :

$$\xi = a(OM)f(t - \frac{OM}{c}),$$

dans laquelle, même en l'absence de phénomènes dissipatifs, l'amplitude $a(OM)$ décroît avec la distance OM pour les cas 2D et 3D

- on utilise la distance OM et non plus une abscisse x
- progressive à droite et régressive à gauche sur un axe
- l'amplitude de la perturbation décroît avec la distance en $1/\sqrt{r}$ à 2D (surface de l'eau par ex.), en $1/r$ à 3D (son par ex.)
- on négligera cette décroissance par la suite (valable dans une zone où les variations relatives de r sont négligeables)

Énergie associée à une onde

- la puissance transportée par une onde est proportionnelle au carré de l'amplitude

Énergie associée à une onde

- la puissance transportée par une onde est proportionnelle au carré de l'amplitude
- à 1D, sans dissipation, la puissance est la même en tout point

Énergie associée à une onde

- la puissance transportée par une onde est proportionnelle au carré de l'amplitude
- à 1D, sans dissipation, la puissance est la même en tout point
- à 2D (resp. 3D) sans dissipation, la puissance rayonnée par une source ponctuelle est, à chaque instant, la même sur tous les cercles (resp. toutes les sphères) centré(e)s sur la source

Expression

le signal est décrit par f de la forme :

Signal sinusoïdal

$$\xi(x,t) = Y_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) + \varphi\right] = Y_m \cos\left[\omega t - kx + \varphi\right]$$

- Y_m : amplitude
- ω : pulsation, $\nu = \omega/(2\pi)$: fréquence
- φ : phase à l'origine
- $k = \omega/c$ est nommé vecteur d'onde par abus de langage
- $c = \omega/k$ est alors nommée vitesse de phase

- vitesse de phase car les coordonnées d'un point de phase φ_0 donnée évoluent selon $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \omega/k$
- réalisable avec une perturbation sinusoïdale imposée en un point
- correspond à une onde infinie dans le temps et dans l'espace : on tronquera en limitant :

Double périodicité : périodicité temporelle

à $x = x_0$ fixé :

$$\xi(x_0, t) = f(t - x_0/c) = Y_m \cos\left(\omega t + \left(\varphi - \omega \frac{x_0}{c}\right)\right)$$

Double périodicité : périodicité temporelle

à $x = x_0$ fixé :

$$\xi(x_0, t) = f(t - x_0/c) = Y_m \cos\left(\omega t + \left(\varphi - \omega \frac{x_0}{c}\right)\right)$$

en tout point le signal est temporellement périodique de période $T = \frac{2\pi}{\omega}$

Double périodicité : périodicité temporelle

à $x = x_0$ fixé :

$$\xi(x_0, t) = f(t - x_0/c) = Y_m \cos\left(\omega t + \left(\varphi - \omega \frac{x_0}{c}\right)\right)$$

en tout point le signal est temporellement périodique de période $T = \frac{2\pi}{\omega}$

Définition (Période)

La période d'un signal périodique est le plus petit intervalle de temps T tel que pour tous x, t :

$$\xi(x, t + T) = \xi(x, t)$$

Double périodicité : périodicité temporelle

Définition (Période)

La période d'un signal périodique est le plus petit intervalle de temps T tel que pour tous x,t :

$$\xi(x,t+T)=\xi(x,t)$$

Double périodicité : périodicité temporelle

Définition (Période)

La période d'un signal périodique est le plus petit intervalle de temps T tel que pour tous x, t :

$$\xi(x, t+T) = \xi(x, t)$$

- elle est la même en tout point

Double périodicité : périodicité temporelle

Définition (Période)

La période d'un signal périodique est le plus petit intervalle de temps T tel que pour tous x, t :

$$\xi(x, t + T) = \xi(x, t)$$

- elle est la même en tout point
- l'ensemble du système se retrouve périodiquement dans le même état

Double périodicité : périodicité temporelle

Définition (Période)

La période d'un signal périodique est le plus petit intervalle de temps T tel que pour tous x, t :

$$\xi(x, t+T) = \xi(x, t)$$

- elle est la même en tout point
- l'ensemble du système se retrouve périodiquement dans le même état
- elle ne dépend que de l'excitation : celle-ci caractérise l'onde produite

Double périodicité : périodicité temporelle

Définition (Période)

La période d'un signal périodique est le plus petit intervalle de temps T tel que pour tous x, t :

$$\xi(x, t+T) = \xi(x, t)$$

- elle est la même en tout point
- l'ensemble du système se retrouve périodiquement dans le même état
- elle ne dépend que de l'excitation : celle-ci caractérise l'onde produite
- animation

Double périodicité : périodicité spatiale

à $t = t_0$ fixé :

$$\xi(x, t_0) = f(t_0 - x/c) = Y_m \cos\left(\omega t_0 + \varphi - \omega \frac{x}{c}\right)$$

Double périodicité : périodicité spatiale

à $t = t_0$ fixé :

$$\xi(x, t_0) = f(t_0 - x/c) = Y_m \cos\left(\omega t_0 + \varphi - \omega \frac{x}{c}\right)$$

à chaque instant le signal est spatialement périodique de période $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega} = \frac{c}{\nu}$

Double périodicité : périodicité spatiale

à $t = t_0$ fixé :

$$\xi(x, t_0) = f(t_0 - x/c) = Y_m \cos\left(\omega t_0 + \varphi - \omega \frac{x}{c}\right)$$

à chaque instant le signal est spatialement périodique de période $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega} = \frac{c}{\nu}$

Définition (Longueur d'onde)

La longueur d'onde d'un signal périodique est la plus petite distance λ telle que pour tous x, t :

$$\xi(x + \lambda, t) = \xi(x, t).$$

On a $\lambda = cT = c/\nu = 2\pi c/\omega = 2\pi/k$.

Double périodicité : périodicité spatiale

Définition (Longueur d'onde)

La longueur d'onde d'un signal périodique est la plus petite distance λ telle que pour tous x, t :

$$\xi(x+\lambda, t) = \xi(x, t).$$

On a $\lambda = cT = c/\nu = 2\pi c/\omega = 2\pi/k$.

Double périodicité : périodicité spatiale

Définition (Longueur d'onde)

La longueur d'onde d'un signal périodique est la plus petite distance λ telle que pour tous x, t :

$$\xi(x+\lambda, t) = \xi(x, t).$$

On a $\lambda = cT = c/\nu = 2\pi c/\omega = 2\pi/k$.

- elle est la même à chaque instant

Double périodicité : périodicité spatiale

Définition (Longueur d'onde)

La longueur d'onde d'un signal périodique est la plus petite distance λ telle que pour tous x, t :

$$\xi(x+\lambda, t) = \xi(x, t).$$

On a $\lambda = cT = c/\nu = 2\pi c/\omega = 2\pi/k$.

- elle est la même à chaque instant
- le système est invariant par translation spatiale de λ

Double périodicité : périodicité spatiale

Définition (Longueur d'onde)

La longueur d'onde d'un signal périodique est la plus petite distance λ telle que pour tous x, t :

$$\xi(x+\lambda, t) = \xi(x, t).$$

On a $\lambda = cT = c/\nu = 2\pi c/\omega = 2\pi/k$.

- elle est la même à chaque instant
- le système est invariant par translation spatiale de λ
- dépend de ω mais aussi du milieu : λ d'un la $440\,$Hz diffère dans l'air, sur une corde …

Déphasage

pour comparer les perturbations en (x,t) et (x',t'), il suffit de comparer $\omega\left(t-\frac{x}{c}\right)+\varphi$ et $\omega\left(t'-\frac{x'}{c}\right)+\varphi$, sans dimension

Déphasage

pour comparer les perturbations en (x,t) et (x',t'), il suffit de comparer $\omega\left(t-\frac{x}{c}\right)+\varphi$ et $\omega\left(t'-\frac{x'}{c}\right)+\varphi$, sans dimension

Définition (Phase d'une onde sinusoïdale)

La phase d'une onde sinusoïdale en un point M et à un instant t, notée $\Phi(M,t)$ caractérise complètement son évolution.
Le déphasage entre deux points M_1 et M_2 est indépendant du temps, il ne dépend que de la distance les séparant. On a, à 1D, pour une onde progressive selon x :

$$\Phi(M_2)-\Phi(M_1)=\frac{2\pi(x_1-x_2)}{\lambda}.$$

Déphasage

Déphasages remarquables

- M_2 et M_1 en phase

$$\Phi(M_2) = \Phi(M_1) \pmod{2\pi} \Leftrightarrow x_1 - x_2 = p\lambda \Leftrightarrow \xi(M_2,t) = \xi(M_1,t) \forall t$$

- M_2 en quadrature avance par rapport à M_1 :

$$\Phi(M_2) = \Phi(M_1) + \frac{\pi}{2} \pmod{2\pi} \rightarrow x_1 - x_2 = \frac{\lambda}{4} + p\lambda.$$

  ξ maximal en M_2 quand il est nul et croissant en M_1

- M_2 en quadrature retard par rapport à M_1 :

$$\Phi(M_2) = \Phi(M_1) - \frac{\pi}{2} \pmod{2\pi} \Rightarrow x_1 - x_2 = -\frac{\lambda}{4} + p\lambda.$$

  ξ maximal en M_2 quand il est nul et décroissant en M_1

- M_2 en opposition de phase par rapport à M_1 :

$$\Phi(M_2) = \Phi(M_1) + \pi \pmod{2\pi} \Leftrightarrow \xi(M_2,t) = -\xi(M_1,t) \Leftrightarrow x_1 - x_2 = \frac{\lambda}{2} + p\lambda$$

Signaux non monochromatiques

la vitesse de phase peut dépendre de la pulsation ω :

Signaux non monochromatiques

Définition (Dispersion)

La propagation d'une onde dans un milieu est dite dispersive si la vitesse de phase $c = \omega/k$ dépend de la pulsation ω. Elle est dite non-dispersive dans le cas contraire.

Exemples et conséquences

propagation non-dispersive ondes électromagnétiques dans le vide,

propagation peu dispersive ondes sonores dans l’air/dans un solide, sur une corde vibrante, ondes électromagnétiques dans l’air

propagation dispersive ondes lumineuses dans un verre, ondes à la surface de l’eau en eau profonde, propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma

Exemples et conséquences

propagation non-dispersive ondes électromagnétiques dans le vide,

propagation peu dispersive ondes sonores dans l'air/dans un solide, sur une corde vibrante, ondes électromagnétiques dans l'air

propagation dispersive ondes lumineuses dans un verre, ondes à la surface de l'eau en eau profonde, propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma

- on a $c = c_{\text{vide}}/n$ avec n l'indice
- pour un verre Flint $n(\text{bleu}) = 1{,}585$, $n(\text{rouge} = 1{,}571) \rightarrow v$ est plus grande pour le rouge
- les différentes réfractions conduisent à une dispersion de la lumière

1

Exemples et conséquences

propagation non-dispersive ondes électromagnétiques dans le vide,

propagation peu dispersive ondes sonores dans l'air/dans un solide, sur une corde vibrante, ondes électromagnétiques dans l'air

propagation dispersive ondes lumineuses dans un verre, ondes à la surface de l'eau en eau profonde, propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma

- pour les vagues en eau profonde : $v = \sqrt{g/k}$
- les trains de vagues de grande longueur d'onde se propagent

[1] Par Zátonyi Sándor, (ifj.) Fizped — Travail personnel, CC BY-SA 3.0, https ://commons.wikimedia.org/w/index.php ?curid=12226400

Exemples et conséquences

propagation non-dispersive ondes électromagnétiques dans le vide,

propagation peu dispersive ondes sonores dans l'air/dans un solide, sur une corde vibrante, ondes électromagnétiques dans l'air

propagation dispersive ondes lumineuses dans un verre, ondes à la surface de l'eau en eau profonde, propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma

Exemples et conséquences

propagation non-dispersive ondes électromagnétiques dans le vide,

propagation peu dispersive ondes sonores dans l'air/dans un solide, sur une corde vibrante, ondes électromagnétiques dans l'air

propagation dispersive ondes lumineuses dans un verre, ondes à la surface de l'eau en eau profonde, propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma

- ondes em dans un plasma : $\omega^2 = \omega_c^2 + k^2 c_{\text{vide}}^2$
- seules les pulsations supérieures à ω_c $(\omega_c/(2\pi) = 1 \cdot 10^7\,\text{Hz}$ pour l'ionosphère) peuvent se propager

[1] Par Zátonyi Sándor, (ifj.) Fizped — Travail personnel, CC BY-SA 3.0, https ://commons.wikimedia.org/w/index.php ?curid=12226400

Onde plane

Une onde peut cependant s'y propager avec en ne dépendant que d'une coordonnée x
nantes diffraction et phet interferences

Onde plane

- sur une corde : le milieu de propagation est unidimensionnel

Une onde peut cependant s'y propager avec en ne dépendant que d'une coordonnée x
nantes diffraction et phet interferences

Onde plane

- sur une corde : le milieu de propagation est unidimensionnel
- à la surface de l'eau : le milieu est bidimensionnel

Une onde peut cependant s'y propager avec en ne dépendant que d'une coordonnée x
nantes diffraction et phet interferences

Onde plane

- sur une corde : le milieu de propagation est unidimensionnel
- à la surface de l'eau : le milieu est bidimensionnel
- son : le milieu est tridimensionnel

Une onde peut cependant s'y propager avec en ne dépendant que d'une coordonnée x

nantes diffraction et phet interferences

Onde plane

- sur une corde : le milieu de propagation est unidimensionnel
- à la surface de l'eau : le milieu est bidimensionnel
- son : le milieu est tridimensionnel

Une onde peut cependant s'y propager avec en ne dépendant que d'une coordonnée x

nantes diffraction et phet interferences

Définition (Front d'onde et onde plane)

Un front d'onde est une surface formée des points où le phase est la même. Une onde plane est une onde dont les fronts d'ondes sont contenus dans des plans tous perpendiculaires à une même droite qui constitue la direction de propagation de l'onde : ξ= f (t-x/c) (progressive) ξ= f (t+x/c) (régressive)

Onde plane

Définition (Front d'onde et onde plane)

Un front d'onde est une surface formée des points où le phase est la même. Une onde plane est une onde dont les fronts d'ondes sont contenus dans des plans tous perpendiculaires à une même droite qui constitue la direction de propagation de l'onde : ξ= f (t-x/c) (progressive) ξ= f (t+x/c) (régressive)

Onde plane

Définition (Front d'onde et onde plane)

Un front d'onde est une surface formée des points où le phase est la même. Une onde plane est une onde dont les fronts d'ondes sont contenus dans des plans tous perpendiculaires à une même droite qui constitue la direction de propagation de l'onde : ξ= f (t-x/c) (progressive) ξ= f (t+x/c) (régressive)

- pour une onde issue d'une source ponctuelle dans un milieu isotrope, les fronts d'ondes sont des sphères

Onde plane

Définition (Front d'onde et onde plane)

Un front d'onde est une surface formée des points où le phase est la même. Une onde plane est une onde dont les fronts d'ondes sont contenus dans des plans tous perpendiculaires à une même droite qui constitue la direction de propagation de l'onde : ξ= f (t-x/c) (progressive) ξ= f (t+x/c) (régressive)

- pour une onde issue d'une source ponctuelle dans un milieu isotrope, les fronts d'ondes sont des sphères
- issue d'une source ponctuelle à la surface de l'eau, des cercles

Onde plane

Définition (Front d'onde et onde plane)

Un front d'onde est une surface formée des points où le phase est la même. Une onde plane est une onde dont les fronts d'ondes sont contenus dans des plans tous perpendiculaires à une même droite qui constitue la direction de propagation de l'onde : ξ= f (t-x/c) (progressive) ξ= f (t+x/c) (régressive)

- pour une onde issue d'une source ponctuelle dans un milieu isotrope, les fronts d'ondes sont des sphères
- issue d'une source ponctuelle à la surface de l'eau, des cercles
- avec une source étendue rectiligne/des sources ponctuelles alignées : onde quasi plane

Extension finie

- une vraie onde plane s'étend à l'infini dans les plans orthogonaux à $\vec{e}_x$

Extension finie

- une vraie onde plane s'étend à l'infini dans les plans orthogonaux à $\vec{e}_x$
- une onde produite avec un segment/réduite par un obstacle ne peute pas être rigoureusement plane

Extension finie

- une vraie onde plane s'étend à l'infini dans les plans orthogonaux à $\vec{e}_x$
- une onde produite avec un segment/réduite par un obstacle ne peute pas être rigoureusement plane
- les bords se comportent « comme des sources ponctuelles »

Extension finie

- une vraie onde plane s'étend à l'infini dans les plans orthogonaux à $\vec{e}_x$
- une onde produite avec un segment/réduite par un obstacle ne peute pas être rigoureusement plane
- les bords se comportent « comme des sources ponctuelles »
  - l'onde diverge après une ouverture

Extension finie

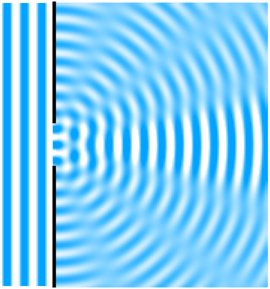
- une vraie onde plane s'étend à l'infini dans les plans orthogonaux à $\vec{e}_x$
- une onde produite avec un segment/réduite par un obstacle ne peute pas être rigoureusement plane
- les bords se comportent « comme des sources ponctuelles »
  - l'onde diverge après une ouverture
  - l'onde converge après un obstacle

Extension finie

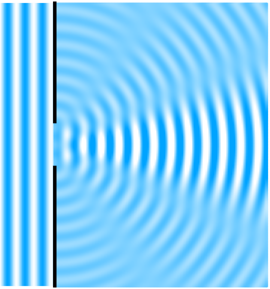
- une vraie onde plane s'étend à l'infini dans les plans orthogonaux à $\vec{e}_x$
- une onde produite avec un segment/réduite par un obstacle ne peute pas être rigoureusement plane
- les bords se comportent « comme des sources ponctuelles »
  - l'onde diverge après une ouverture
  - l'onde converge après un obstacle
  - l'amplitude varie également comme lors d'une interférence à deux ondes (voir plus tard)

Extension finie

- modèle de propagation des ondes : chaque point atteint devient une source ponctuelle
- les interférences entre leurs ondes donnent l'onde globale



simulation de l'onde produite par 3 sources sur la fente



simulation de l'onde produite par 200 sources sur la fente

- animation
- sur la cuve à ondes, on distingue un cône dont l'angle est d'autant plus grand que :

- animation
- sur la cuve à ondes, on distingue un cône dont l'angle est d'autant plus grand que :
- la fente est fine

- animation
- sur la cuve à ondes, on distingue un cône dont l'angle est d'autant plus grand que :
- la fente est fine
- la longueur d'onde est grande

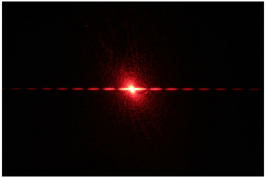
Définition (Cône de diffraction)

Une onde de longueur d'onde λ tombant sur une ouverture de taille caractéristique d dans la direction perpendiculaire à sa propagation est diffractée. Loin en aval de l'ouverture, la perturbation est essentiellement concentrée dans un cône de demi angle au sommet θ tel que :

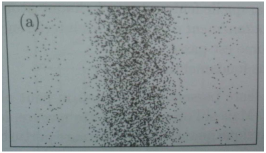
$$\sin(\theta) \simeq \frac{\lambda}{d}.$$

Ubiquité

la diffraction est commune à tous les phénomènes ondulatoires, quelle que soit la nature de l'onde



Diffraction de la lumière par une fente



Diffraction d'un faisceau d'atomes par une fente (cf. Mécanique Quantique)

Ubiquité

la diffraction est commune à tous les phénomènes ondulatoires, quelle que soit la nature de l'onde

Ubiquité

la diffraction est commune à tous les phénomènes ondulatoires, quelle que soit la nature de l'onde

Ubiquité

la diffraction est commune à tous les phénomènes ondulatoires, quelle que soit la nature de l'onde

- diffraction observable seulement si d est de l'ordre (ou plus petit) que λ

Ubiquité

la diffraction est commune à tous les phénomènes ondulatoires, quelle que soit la nature de l'onde

- diffraction observable seulement si d est de l'ordre (ou plus petit) que λ
- mêmes résultats qualitatifs quelle se soit la forme de l'ouverture

Ubiquité

la diffraction est commune à tous les phénomènes ondulatoires, quelle que soit la nature de l'onde

- diffraction observable seulement si d est de l'ordre (ou plus petit) que λ
- mêmes résultats qualitatifs quelle se soit la forme de l'ouverture
- à grande distance, la figure de diffraction ne dépend que de la direction d'observation : on parle de diffraction à l'infini

Milieu linéaire

supposons qu'on a étudié la réponse à deux excitations 1 et 2, on étudie $1+2$ dans un milieu linéaire

Milieu linéaire

supposons qu'on a étudié la réponse à deux excitations 1 et 2, on étudie $1+2$ dans un milieu linéaire

Définition (Milieu linéaire et principe de superposition)

Un milieu est dit linéaire si la réponse à une combinaison linéaire de signaux est la même combinaison linéaires des réponses à chaque signal pris séparément. Il obéit au principe de superposition.

Milieu linéaire

Définition (Milieu linéaire et principe de superposition)

Un milieu est dit linéaire si la réponse à une combinaison linéaire de signaux est la même combinaison linéaires des réponses à chaque signal pris séparément. Il obéit au principe de superposition.

Milieu linéaire

Définition (Milieu linéaire et principe de superposition)

Un milieu est dit linéaire si la réponse à une combinaison linéaire de signaux est la même combinaison linéaires des réponses à chaque signal pris séparément. Il obéit au principe de superposition.

- la réponse à une excitation x fois plus intense sera x fois plus intense

Milieu linéaire

Définition (Milieu linéaire et principe de superposition)

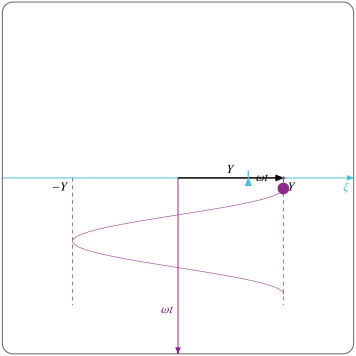
Un milieu est dit linéaire si la réponse à une combinaison linéaire de signaux est la même combinaison linéaires des réponses à chaque signal pris séparément. Il obéit au principe de superposition.

- la réponse à une excitation x fois plus intense sera x fois plus intense
- la réponse à des excitations sinusoïdales suffit pour tout connaître grâce à la transformation de Fourier

Somme de sinusoïdes synchrones

animation   la somme de deux sinusoïdes synchrones (*ie* de même fréquence ω et dont la phase relative est constante), est une sinusoïde de même fréquence dont l'amplitude et la phase peuvent être déterminées graphiquement somme sinusoïdes

Représentation de Fresnel : principe



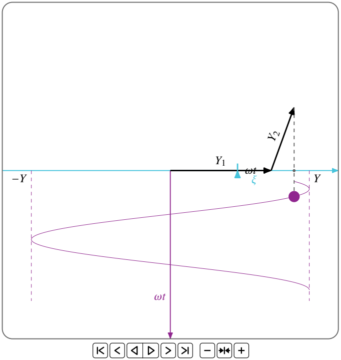
- on a un signal $\xi = Y \cos(\omega t)$
- on lui associe un complexe de module Y et d'argument ωt : $\underline{\xi} = Y \exp(i\omega t)$: c'est sa représentation de Fresnel
- l'évolution temporelle de ξ correspond à une rotation du vecteur d'affixe $\underline{\xi}$ dans le plan complexe
- on a à chaque instant $\xi = \mathrm{Re}(\underline{\xi})$
- si $\xi = Y \cos(\omega t + \varphi)$, $\underline{\xi} = Y \exp(i(\omega t + \varphi))$: le vecteur d'affixe $\underline{\xi}$ est tourné de φ

Représentation de Fresnel : Utilisation

- on cherche Y_s et φ_s tels que :

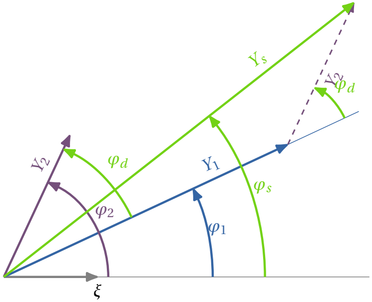
$$Y_1 \cos\left(\omega t + \varphi_1\right) + Y_2 \cos\left(\omega t + \varphi_2\right) = Y_s \cos\left(\omega t + \varphi_s\right)$$

- on utilise les complexes $\underline{\xi_1}$ et $\underline{\xi_2}$ et $\underline{\xi_s} = \underline{\xi_1} + \underline{\xi_2}$
- on lit graphiquement $Y_s = \left|\underline{\xi_s}\right|$ et $\varphi_s = \arg(\underline{\xi_s})$ à $t = 0$



- Y_s et φ_s sont indépendantes du temps
- ☠ aucun sens pour des sinusoïdes de fréquences différentes

Détermination graphique



- on peut calculer :

$$Y_s^2 = Y_1^2 + Y_2^2 + 2Y_1Y_2\cos(\varphi_d)$$
$$\frac{\sin(\varphi_\mathrm{d})}{Y_s} = \frac{\sin(\varphi_s - \varphi_1)}{Y_2}$$

- c'est la phase relative, le déphasage $\varphi_d = \varphi_2 - \varphi_1$ qui importe
- à refaire à chaque fois, la plupart du temps, l'étude du schéma suffira pour tirer des conclusions qualitatives intéressantes

Observations sur la cuve à ondes

sans le stroboscope :

- avec une source : la perturbation oscille avec la même amplitude en chaque point

Observations sur la cuve à ondes

sans le stroboscope :

- avec une source : la perturbation oscille avec la même amplitude en chaque point
- avec deux sources synchrones : il existe des points où la perturbation est toujours nulle et l'amplitude varie en chaque point

Observations sur la cuve à ondes

sans le stroboscope :

- avec une source : la perturbation oscille avec la même amplitude en chaque point
- avec deux sources synchrones : il existe des points où la perturbation est toujours nulle et l'amplitude varie en chaque point
- les deux ondes ont interféré

Observations sur la cuve à ondes

sans le stroboscope :

- avec une source : la perturbation oscille avec la même amplitude en chaque point
- avec deux sources synchrones : il existe des points où la perturbation est toujours nulle et l'amplitude varie en chaque point
- les deux ondes ont interféré
- simulation

Amplitude de la somme de deux ondes

☠ l'amplitude de la somme n'est pas la somme des amplitudes.

pour la somme, au point M de deux ondes sinusoïdales synchrones unidimensionnelles (pour simplifier) émises par deux émetteurs S_1 et S_2 :

Amplitude de la somme de deux ondes

☠ l'amplitude de la somme n'est pas la somme des amplitudes.
pour la somme, au point M de deux ondes sinusoïdales synchrones unidimensionnelles (pour simplifier) émises par deux émetteurs S_1 et S_2 :

- l'excitation $\xi_1(x,t)$ au point M de coordonnée x due à la source S_1 dépend de la distance S_1M

Amplitude de la somme de deux ondes

☠ l'amplitude de la somme n'est pas la somme des amplitudes.
pour la somme, au point M de deux ondes sinusoïdales synchrones unidimensionnelles (pour simplifier) émises par deux émetteurs S_1 et S_2 :

- l'excitation $\xi_1(x,t)$ au point M de coordonnée x due à la source S_1 dépend de la distance S_1M
- de même $\xi_2(x,t)$ dépend de S_2M

Amplitude de la somme de deux ondes

☠ l'amplitude de la somme n'est pas la somme des amplitudes.

pour la somme, au point M de deux ondes sinusoïdales synchrones unidimensionnelles (pour simplifier) émises par deux émetteurs S_1 et S_2 :

- l'excitation $\xi_1(x,t)$ au point M de coordonnée x due à la source S_1 dépend de la distance S_1M
- de même $\xi_2(x,t)$ dépend de S_2M

$$\begin{aligned}\xi_s(x,t) &= \xi_1(x,t) + \xi_2(x,t)\\ &= X_1\cos\left(\omega t - \frac{2\pi S_1M}{\lambda} + \varphi_1\right) + X_2\cos\left(\omega t - \frac{2\pi S_2M}{\lambda} + \varphi_2\right)\end{aligned}$$

Amplitude de la somme de deux ondes

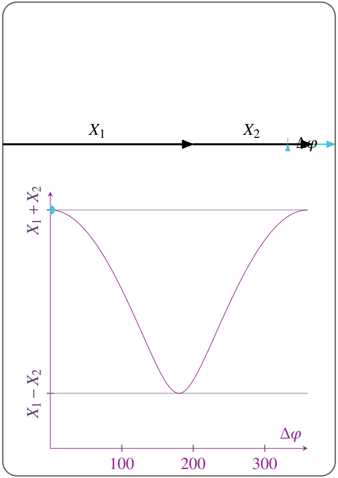
- interférences constructives : X_s maximale pour :

$$\varphi_2 - \varphi_1 + \frac{2\pi\left(S_1M - S_2M\right)}{\lambda} = 0 \pmod{2\pi}$$

- interférences destructives : X_s minimale pour :

$$\varphi_2 - \varphi_1 + \frac{2\pi\left(S_1M - S_2M\right)}{\lambda} = \pi \pmod{2\pi}$$

- le contraste entre le maximum et le minimum de X_s est le plus grand quand $X_1 = X_2$



Conditions d'interférences

on prend $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ (les deux sources sont en phase) pour simplifier

Conditions d'interférences

Conditions d'interférences

Les ondes synchrones de longueur d'onde λ émises par deux sources S_1 et S_2 en phase interfèrent :

- constructivement aux points M tels que $S_2M - S_1M = p\lambda \quad p \in \mathbb{Z}$
- destructivement aux points M tels que $S_2M - S_1M = \frac{\lambda}{2} + p\lambda \quad p \in \mathbb{Z}$

L'amplitude en interférences constructives (resp. destructives) est maximale (resp. minimale) si elles ont même amplitude X, elle vaut alors $2X$ (resp. 0).

Conditions d'interférences

Conditions d'interférences

Les ondes synchrones de longueur d'onde λ émises par deux sources S_1 et S_2 en phase interfèrent :

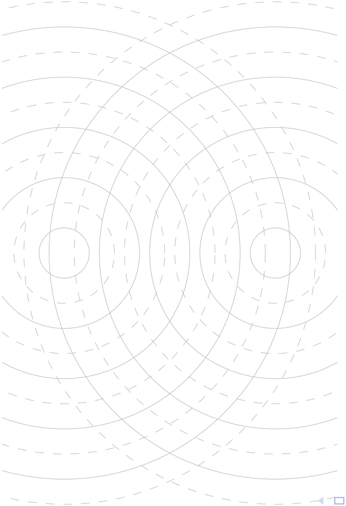
- constructivement aux points M tels que $S_2M - S_1M = p\lambda \quad p \in \mathbb{Z}$
- destructivement aux points M tels que $S_2M - S_1M = \frac{\lambda}{2} + p\lambda \quad p \in \mathbb{Z}$

L'amplitude en interférences constructives (resp. destructives) est maximale (resp. minimale) si elles ont même amplitude X, elle vaut alors $2X$ (resp. 0).

- à adapter si $\varphi_1 \neq \varphi_2$
- constructif si $S_2M - S_1M = \lambda(p + (\varphi_2 - \varphi_1)/(2\pi) \quad p \in \mathbb{Z}$

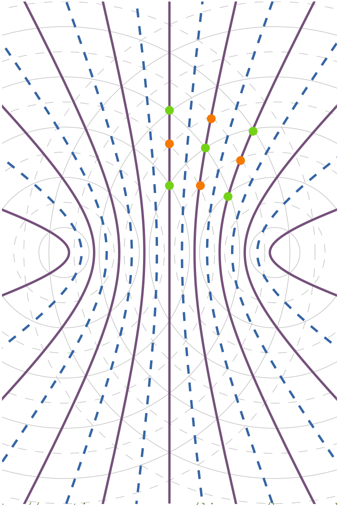
Conditions d'interférences

Détermination graphique des interférences constructives



Conditions d'interférences

Détermination graphique des interférences constructives



- les lignes épaisses représentent le lieu des interférences constructives : points verts (resp. orange) pour une perturbation maximale (resp. minimale)
- les lignes en traits interrompus représentent le lieu des interférences destructives
- les points de même déphasage sont des branches d'hyperbole

Conditions d'interférences

Conditions d'interférences

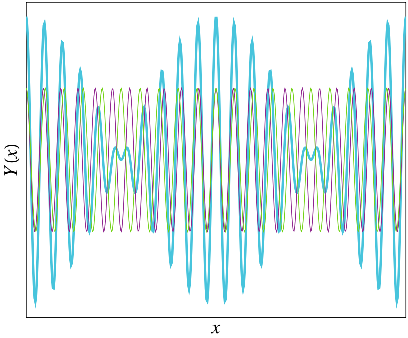
- si on est 2D ou 3D, les conditions restent les mêmes mais l'amplitude de chaque onde (Y_1, Y_2) diminue quand on s'éloigne de la source (S_1, S_2)

Conditions d'interférences

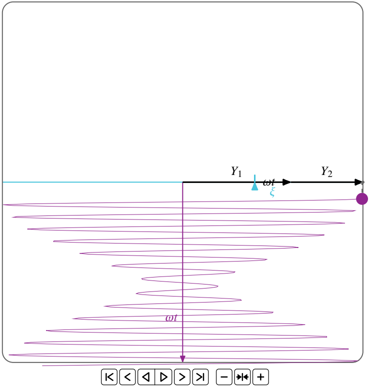
- si on est 2D ou 3D, les conditions restent les mêmes mais l'amplitude de chaque onde (Y_1, Y_2) diminue quand on s'éloigne de la source (S_1, S_2)
- si l'onde ne se propage pas toujours dans le même milieu, c varie au cours de la propagation et il faut reprendre le calcul du retard entre S_1 et M et entre S_2 et M

Observation

- on fait sonner deux diapasons légèrement différents
- ou play -n –rate 96k synth sine 240 sine 245
- on reconnaît la note, l'amplitude varie d'autant plus lentement ($\simeq$ Hz) que les fréquence sont proches
- on peut l'utiliser pour accorder deux cordes



Construction de Fresnel

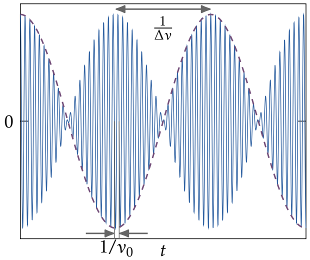


Fréquence de battement

Fréquence de battement

La somme de deux fonctions sinusoïdales $g_1(u)$ et $g_2(u)$ de fréquences ν_1 et ν_2 proches est une fonction quasi-périodique dont l'amplitude varie lentement. Dans le cas où g_1 et g_2 ont même amplitude g_0, la somme $g_1 + g_2$ peut être décrite comme :

- une sinusoïde à la fréquence moyenne $\nu_0 = (\nu_1 + \nu_2)/2$,
- dont l'amplitude oscille sinusoïdalement à la fréquence différence $\Delta\nu = |\nu_2 - \nu_1|$, d'autant plus faible que ν_2 et ν_1 sont proches.

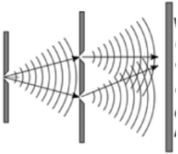


Fréquence de battement

- ☠ : $1/\Delta\nu_0$ est toujours la distance entre deux passages dans le même sens par 0, c'est également pratiquement la distance entre deux extrêmums si $\Delta\nu \ll \nu_0$
- également observable avec des ondes lumineuses, électroniques…
- utilisé par exemple pour mesurer une très faible différence de fréquence entre 2 lasers

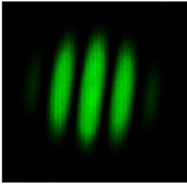
Expérience des trous d'Young

- une onde lumineuse monochromatique de pulsation ω issue d'un point S, longueur d'onde $\lambda = 2\pi c/\omega$ dans le vide
- se propage dans un milieu d'indice n,
- un plan opaque percé de deux petits trous A_1 et A_2 distants de $2a$\$, équidistants de S,
- un écran parallèle placé à D
- grâce à la diffraction une partie de l'écran est illuminée par les ondes lumineuses issues des deux trous
- interférences entre les ondes issues des deux trous : zones sombres et claires perpendiculaires à la direction de (A_1A_2), notée $\vec{e_x}$
- animation (cuve)
- animation (construction)



Expérience des trous d'Young

- une onde lumineuse monochromatique de pulsation ω issue d'un point S, longueur d'onde $\lambda = 2\pi c/\omega$ dans le vide
- se propage dans un milieu d'indice n,
- un plan opaque percé de deux petits trous A_1 et A_2 distants de $2a$\$, équidistants de S,
- un écran parallèle placé à D
- grâce à la diffraction une partie de l'écran est illuminée par les ondes lumineuses issues des deux trous
- interférences entre les ondes issues des deux trous : zones sombres et claires perpendiculaires à la direction de (A_1A_2), notée $\vec{e_x}$
- animation (cuve)
- animation (construction)



Chemin optique

- en un point $P(x)$ de l'écran coplanaire avec $S;A_1;A_2$
- ondes sphériques issues de S, puis A_1 et A_2, les fronts d'ondes sont des sphères : la phase acquise est celle d'un rayon lumineux fictif se propageant en lignes droites dans l'air
- φ_1 (resp. φ_2) est la phase acquise par l'onde sur le trajet $S;A_1;P$ (resp. $S;A_2;P$), calculable
- interférences constructives en un point $P(x)$ si $\Delta\varphi = 0 \mod [2\pi]$

Chemin optique

Définition (Chemin optique)

Pour étudier la propagation, dans un milieu homogène d'indice n, d'une onde lumineuse on définit le chemin optique $\mathscr{L}_{M_1M_2}$ entre deux points M_1 et M_2 comme le produit :

$$\mathscr{L}_{M_1M_2} = nM_1M_2$$

Chemin optique

Définition (Chemin optique)

Pour étudier la propagation, dans un milieu homogène d'indice n, d'une onde lumineuse on définit le chemin optique $\mathscr{L}_{M_1M_2}$ entre deux points M_1 et M_2 comme le produit :

$$\mathscr{L}_{M_1M_2} = nM_1M_2$$

- animation (trains)
- supérieur à la distance physique pour $n > 1$
- $\simeq$ à la distance physique dans l'air
- correspond à la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant la même durée
- on utilisera souvent des fentes d'Young parallèles, de longueur $\ell \gg \lambda$ diffraction et figure d'interférences seulement dans la direction perpendiculaire aux fentes et plus d'intensité

Chemin optique

Définition (Chemin optique)

Pour étudier la propagation, dans un milieu homogène d'indice n, d'une onde lumineuse on définit le chemin optique $\mathscr{L}_{M_1M_2}$ entre deux points M_1 et M_2 comme le produit :

$$\mathscr{L}_{M_1M_2} = nM_1M_2$$

- animation (trains)
- supérieur à la distance physique pour $n > 1$
- $\simeq$ à la distance physique dans l'air
- correspond à la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant la même durée
- on utilisera souvent des fentes d'Young parallèles, de longueur $\ell \gg \lambda$ diffraction et figure d'interférences seulement dans la direction perpendiculaire aux fentes et plus d'intensité

Interférences et chemin optique

Déphasage et chemin optique

Pour une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ se propageant dans un milieu homogène d'indice n :

- on considère deux points M_1 et M_2 pouvant être atteints par un rayon lumineux se propageant selon la même direction et le même sens que l'onde ;
- la phase acquise par une onde lumineuse lors de sa propagation dans un milieu homogène d'indice n d'un point M_1 à un point M_2 est égale au quotient :

$$\Delta\varphi_{M_1M_2} = \frac{2\pi\mathscr{L}_{M_1M_2}}{\lambda}$$

Interférences et chemin optique

Condition d'interférences

- les interférences entre les ondes empruntant différents chemins seront constructives (resp. destructives) quand leurs différences de chemins optiques δ seront congrues à $0 \mod \lambda$ (resp. congrues à $\lambda/2 \mod \lambda$).
- dans le cas de l'expérience des trous d'Young, on aura donc des interférences :

  constructives pour $\delta = n\,(SA_2 + A_2M) - (SA_1 + A_1M) = 0 \mod \lambda$

  destructives pour $\delta = n\,(SA_2 + A_2M) - (SA_1 + A_1M) = \lambda/2 \mod \lambda$
- sur l'écran, le lieu des points contigus de même phase est nommé frange d'interférences

Interférences et chemin optique

Condition d'interférences

- les interférences entre les ondes empruntant différents chemins seront constructives (resp. destructives) quand leurs différences de chemins optiques δ seront congrues à $0 \mod \lambda$ (resp. congrues à $\lambda/2 \mod \lambda$).
- dans le cas de l'expérience des trous d'Young, on aura donc des interférences :

  constructives pour $\delta = n(SA_2 + A_2M) - (SA_1 + A_1M) = 0 \mod \lambda$

  destructives pour $\delta = n(SA_2 + A_2M) - (SA_1 + A_1M) = \lambda/2 \mod \lambda$
- sur l'écran, le lieu des points contigus de même phase est nommé frange d'interférences

- la différence de chemin optique est aussi appelée différence de marche (plutôt dans le cas d'une onde non lumineuse)
- frange claire pour $\delta = 0 \mod \lambda$
- frange sombre pour $\delta = \lambda/2 \mod \lambda$

Interférences et chemin optique

- la différence de chemin optique est aussi appelée différence de marche (plutôt dans le cas d'une onde non lumineuse)
- frange claire pour $\delta = 0 \mod \lambda$
- frange sombre pour $\delta = \lambda/2 \mod \lambda$

Définition (Interfrange)

On nomme interfrange, noté δ, la distance séparant deux zones d'interférences constructives.
Dans l'expérience des trous d'Young, dans le plan $S;A_1;A_2$, elle vaut, pour $x \ll D$ et $a \ll D$:

$$i = \frac{\lambda D}{2na},$$

avec $2a$ la distance entre les trous.

Interférences et chemin optique

- la différence de chemin optique est aussi appelée différence de marche (plutôt dans le cas d'une onde non lumineuse)
- frange claire pour $\delta = 0 \mod \lambda$
- frange sombre pour $\delta = \lambda/2 \mod \lambda$

Définition (Interfrange)

On nomme interfrange, noté δ, la distance séparant deux zones d'interférences constructives.
Dans l'expérience des trous d'Young, dans le plan $S;A_1;A_2$, elle vaut, pour $x \ll D$ et $a \ll D$:

$$i = \frac{\lambda D}{2na},$$

avec $2a$ la distance entre les trous.

- c'est aussi la distance entre les zones d'interférences destructives
- croît quand a diminue
- croît quand D croît

Interférences et chemin optique

- la différence de chemin optique est aussi appelée différence de marche (plutôt dans le cas d'une onde non lumineuse)
- frange claire pour $\delta = 0 \mod \lambda$
- frange sombre pour $\delta = \lambda/2 \mod \lambda$

Définition (Interfrange)

On nomme interfrange, noté δ, la distance séparant deux zones d'interférences constructives.
Dans l'expérience des trous d'Young, dans le plan $S;A_1;A_2$, elle vaut, pour $x \ll D$ et $a \ll D$:

$$i = \frac{\lambda D}{2na},$$

avec $2a$ la distance entre les trous.

Intensité lumineuse

Intensité lumineuse

- comment décrire ce qu'on voit sur l'écran plus précisément, quelles sont les variations continues entre franges claires et sombres ?

Intensité lumineuse

- comment décrire ce qu'on voit sur l'écran plus précisément, quelles sont les variations continues entre franges claires et sombres ?
- l'onde est associée aux variations du champ électromagnétique : ce sont les amplitudes des champs E et B qu'on doit sommer pour étudier les interférences

Intensité lumineuse

- comment décrire ce qu'on voit sur l'écran plus précisément, quelles sont les variations continues entre franges claires et sombres ?
- l'onde est associée aux variations du champ électromagnétique : ce sont les amplitudes des champs E et B qu'on doit sommer pour étudier les interférences
- les détecteurs lumineux (œil, photodiode…) sont dits quadratiques, {*ie* } sensibles à la l'intensité lumineuse de l'onde, proportionnelle au carré des amplitudes des champs

Intensité lumineuse

- comment décrire ce qu'on voit sur l'écran plus précisément, quelles sont les variations continues entre franges claires et sombres ?
- l'onde est associée aux variations du champ électromagnétique : ce sont les amplitudes des champs E et B qu'on doit sommer pour étudier les interférences
- les détecteurs lumineux (œil, photodiode…) sont dits quadratiques, {*ie* } sensibles à la l'intensité lumineuse de l'onde, proportionnelle au carré des amplitudes des champs
- l'oreille est également un détecteur quadratique

Intensité lumineuse

Formule de Fresnel

On considère deux ondes lumineuses monochromatiques de même fréquence, d'intensité lumineuses respectives I_1 et I_2. En un point où leur déphasage est $\Delta\varphi$, l'intensité de l'onde totale est :

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\left(\Delta\varphi\right).$$

On nomme contraste de la figure d'interférences le quotient :

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}.$$

Intensité lumineuse

Formule de Fresnel

On considère deux ondes lumineuses monochromatiques de même fréquence, d'intensité lumineuses respectives I_1 et I_2. En un point où leur déphasage est $\Delta\varphi$, l'intensité de l'onde totale est :

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\Delta\varphi).$$

On nomme contraste de la figure d'interférences le quotient :

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}.$$

- on a $0 \leqslant C \leqslant 1$
- $C = 1$ pour $I_1 = I_2$
- $C = 0$ si l'une des intensités est beaucoup plus grande que l'autre

Exercice : Expérience des trous d'Young

On réalise une expérience de trous d'Young avec une source lumineuse de longueur d'onde dans le vide égale à $\lambda = 633\,\text{nm}$. L'écran est placé à une distance $D = 2{,}0\,\text{m}$ du plan des deux trous qui sont identiques. On note x l'abscisse d'un point par rapport au centre de l'écran, dans la direction de l'axe des trous.

1. On mesure une interfrange de $0{,}5\,\text{mm}$. En déduire la distance $2a$ entre les trous.
2. En déduire l'allure de la courbe de l'intensité $I(x)$ sur l'écran.
3. Dans cette question, un des trous a un rayon deux fois plus faible que l'autre :
   - a L'interfrange est-elle modifiée ?
   - b Calculer le contraste et tracer la nouvelle allure de $I(x)$.

Interférences à l'infini

Quand D tend vers l'infini on caractérise la différence de chemin optique à l'aide de l'angle dans lequel on regarde les interférences

Interférences à l'infini

Dans une expérience de trous d'Young distants de $2a$ observée à l'infini, la différence de chemin optique dans la direction θ entre les deux sources vaut :

$$\delta = 2an\sin(\theta)$$

- à retenir avec le schéma !
- ici on n'a utilisé que les approximations $y \gg a$ et $D \gg a$, pas $D \gg y$

Cohérence temporelle

- une source n'est jamais rigoureusement monochromatique (accidents de phase, allumage/extinction)
- image de « trainsd'ondes »
  - de durée finie
  - déphasage aléatoire d'un train à l'autre

Cohérence temporelle

- une source n'est jamais rigoureusement monochromatique (accidents de phase, allumage/extinction)
- image de « trainsd'ondes »
  - de durée finie
  - déphasage aléatoire d'un train à l'autre

Définition (Temps et longueur de cohérence)

Pour une source quasi-monochromatique de pulsation ω_0, le temps de cohérence $\Delta\tau_c$ caractérise la durée pendant laquelle on peut considérer que la phase φ évolue linéairement avec le temps. Pour t_1, t_2 tels que $t_2 - t_1 \ll \Delta\tau$, on a donc :

$$\varphi(t_2) - \varphi(t_1) \simeq \omega_0(t_2 - t_1).$$

Dans l'expérience des trous/fentes d'Young, on aura alors brouillage de la figure d'interférence quand la différence de marche entre les deux chemins n'est pas petite devant la « longueur de cohérence » $\ell_c = c\Delta\tau$.

Cohérence temporelle

Cohérence temporelle

- pour $\not\ll \Delta\tau_c$, $\varphi_2 - \varphi_1$ peut être quelconque

Cohérence temporelle

- pour $\not\ll \Delta\tau_c$, $\varphi_2 - \varphi_1$ peut être quelconque
- pour les trous d'Young, $\Phi(A_2) - \Phi(A_1)$ variera en fonction du temps en un point M si $\mathscr{L} \not\ll \ell_{\rfloor}$.

Cohérence temporelle

- pour $\not\ll \Delta\tau_c$, $\varphi_2 - \varphi_1$ peut être quelconque
- pour les trous d'Young, $\Phi(A_2) - \Phi(A_1)$ variera en fonction du temps en un point M si $\mathscr{L} \not\ll \ell_\rfloor$.
- pour un laser HeNe : $\ell_c \simeq 20\,$cm, pour le soleil, de l'ordre du µm

Indispensable

- expressions de la phase d'une onde progressive régressive en fonction de x, t
- relations entre fréquence, période, pulsation, longueur d'onde et vitesse de phase pour une onde sinusoïdale
- déphasages remarquables
- principe de la décomposition en série de Fourier
- conditions sur les phases de deux ondes pour avoir des interférences constructives/destructives
- cône de diffraction
- chemin optique et déphasage
- dispositif des trous d'Young : calcul de l'interfrange
- formule de Fresnel de l'intensité