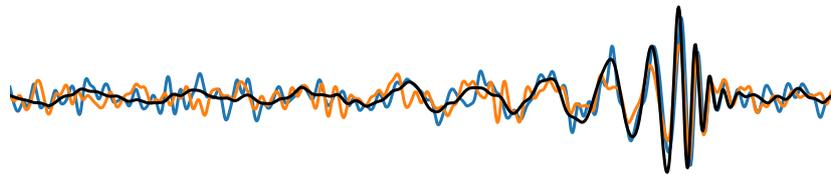


Chapitre O3 – Propagation d'un signal

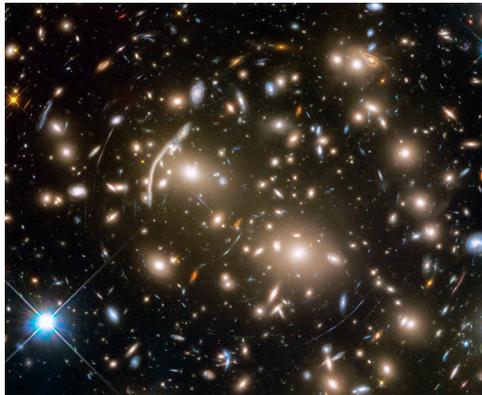
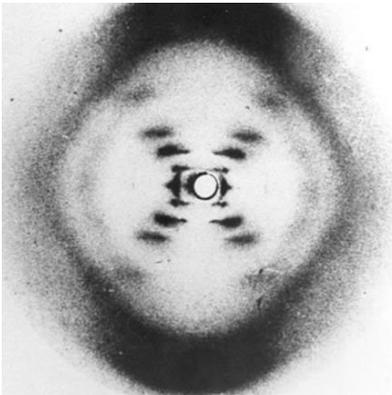
Plan du cours

- I Exemples de signaux
- II Onde progressive à une dimension
 - II.1 Expression d'une onde progressive
 - II.2 Onde progressive sinusoïdale
- III Diffraction
 - III.1 Observations expérimentales
 - III.2 Caractérisation du phénomène de diffraction
- IV Interférences
 - IV.1 Superposition de deux ondes
 - IV.2 Interférences lumineuses

Signaux



Diffraction



Interférences



Ce qu'il faut savoir et savoir faire

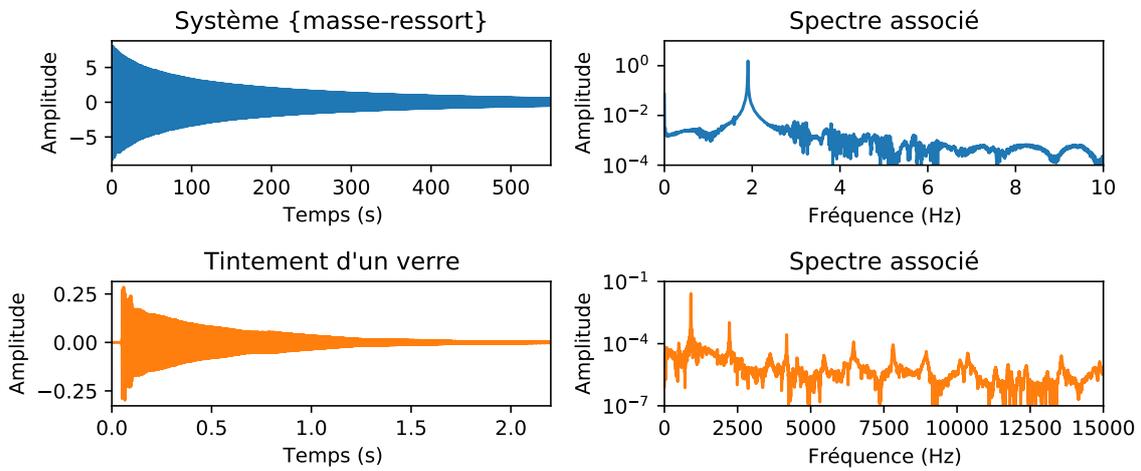
- Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
- Écrire les signaux sous la forme $f(t - x/c)$ ou $g(t + x/c)$.
- Écrire les signaux sous la forme $F(x - ct)$ ou $G(x + ct)$.
- Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.
- Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique.
- Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase.
- Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.
- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.
- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.
- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.
- Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.
- Déterminer les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young.
- Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique.
- Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique linéarisée entre les deux ondes.
- Établir l'expression de l'interfrange.

Questions de cours

- Donner l'expression générale d'une onde progressive à une dimension, sinusoïdale ou non, se propageant dans une direction et un sens donnés.
- Prévoir l'évolution temporelle ou spatiale d'une onde dont la forme est donnée (App. 1).
- En s'appuyant sur un schéma, donner l'expression de l'ordre de grandeur de l'angle caractéristique de diffraction.
- Donner les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de sources ponctuelles.
- Établir l'expression de la différence de chemin optique dans le cas des trous d'Young (App. 6).

Documents

Document 1 – Analyse spectrale d'un signal



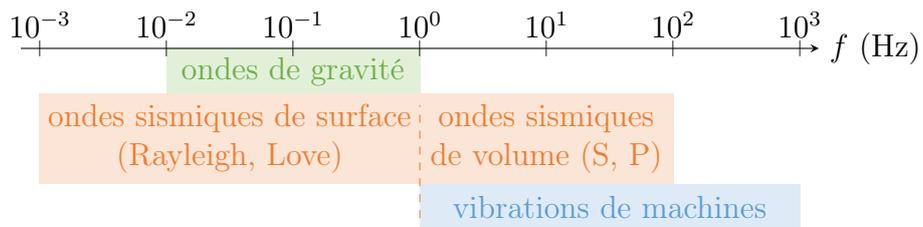
Document 2 – Ordres de grandeur de fréquences

- Ondes acoustiques :

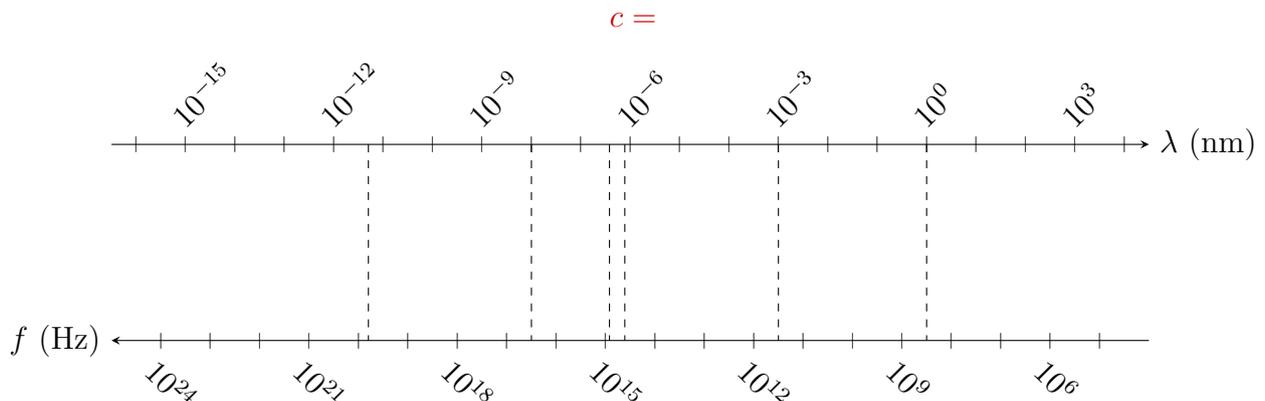


- Ondes mécaniques :

Elles regroupent des types d'ondes très variés : ondes de gravité (ondes à la surface de l'eau), ondes sismiques, ondes élastiques créées par les vibrations de machines, etc.



- Ondes électromagnétiques :



Document 3 – Diffraction

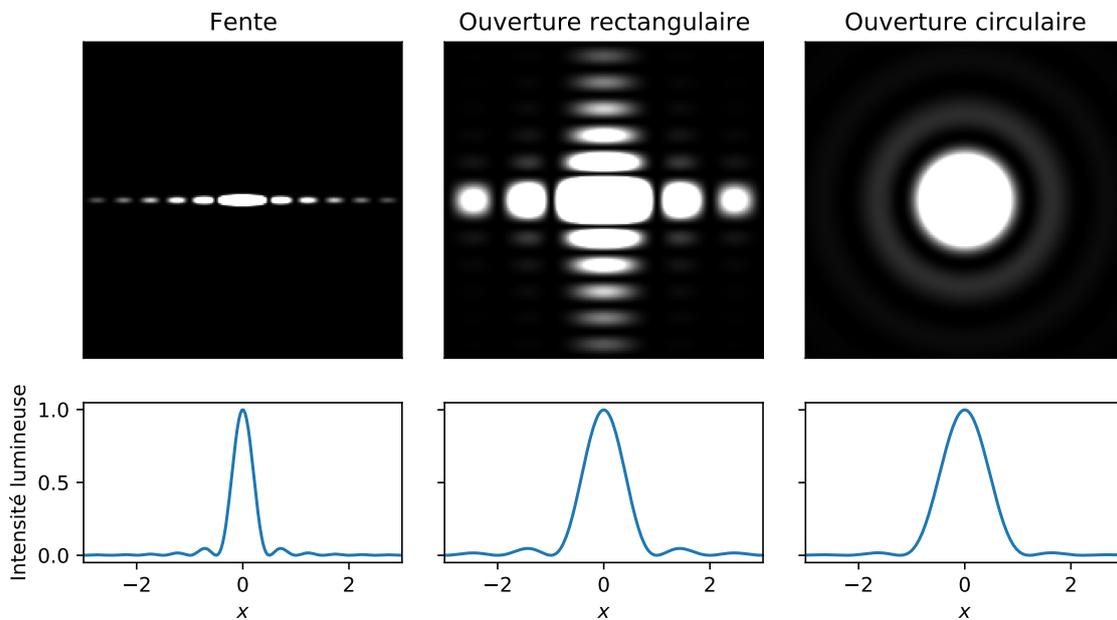
Le phénomène de diffraction est bien visible lorsque la propagation des vagues est limitée, à l'entrée d'un port par exemple. Quelques destinations à visiter avec earth.google.com :

- Alexandrie, Égypte (ci-contre) ;
- Oróklini, Chypre ;
- Saint-Jean-de-Luz, France.

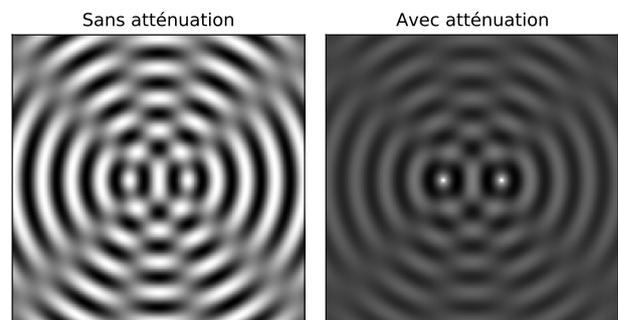
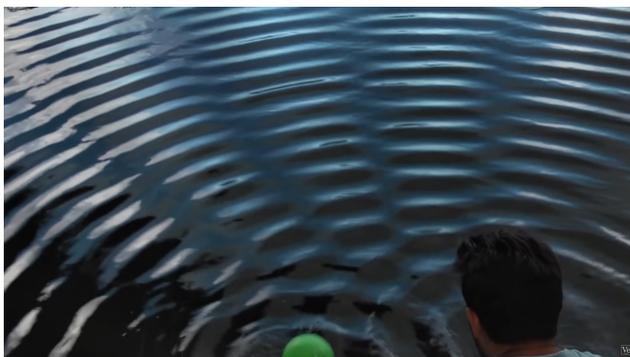


sciences.univ-nantes.fr

En optique, la diffraction limite la sensibilité des instruments. L'objectif d'une lunette ou le miroir primaire d'un télescope fait office de **diaphragme circulaire** dont la figure de diffraction donne une **tache d'Airy** d'autant plus petite que le diamètre de l'optique est grand.



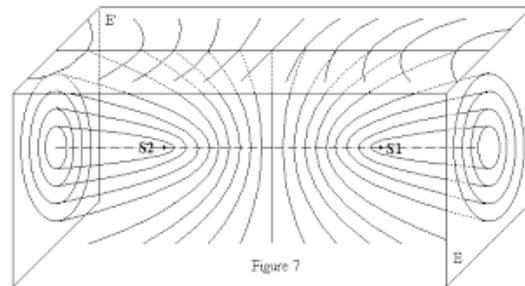
Document 4 – Interférences dans une cuve à onde



sciences.univ-nantes.fr

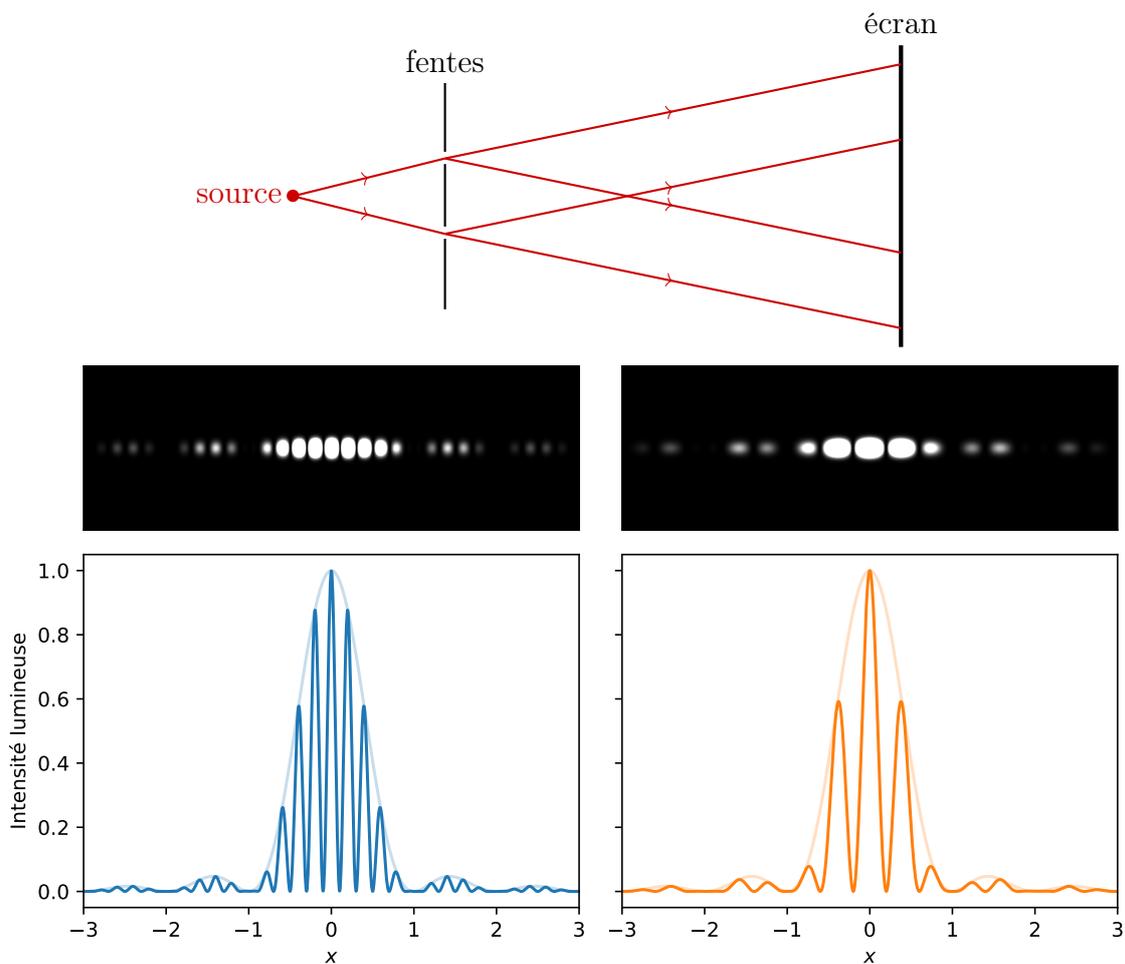
Document 5 – Interférences lumineuses : lieux des interférences constructives

Dans le cas de deux sources ponctuelles, on montre que le lieu des interférences constructive forme des hyperboloïdes de révolution.



Document 6 – Interférences lumineuses : les fentes d'Young

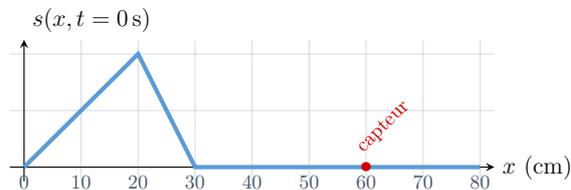
L'expérience des fentes d'Young, réalisée pour la première fois en 1801 a permis de mettre en évidence le caractère ondulatoire de la lumière (Veritasium, [The original double slit experiment](#)). Des analogues de cette expérience existent avec des ondes acoustiques, mécaniques mais aussi avec des électrons, des molécules et des photons uniques (Science étonnante, [La plus belle expérience de la physique](#)), ce qui permet de mettre en évidence la dualité onde-corpuscule pour ces particules.



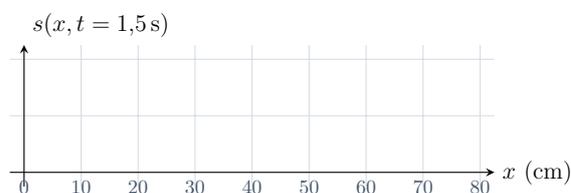
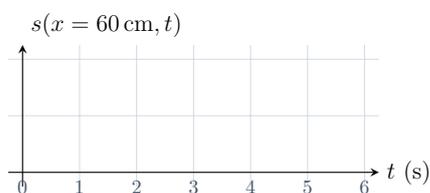
Applications

Application 1 – Allure du signal propagé

La figure ci-contre est la représentation spatiale d'une onde à l'instant $t = 0$ s. Cette onde se propage dans le sens des x croissants à la célérité $c = 20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Un capteur est situé en $x = 60 \text{ cm}$.



1. Compléter le chronogramme du signal reçu par le capteur.
2. Représenter l'allure de l'onde $s(x, t = 1,5 \text{ s})$ à l'instant $t = 1,5 \text{ s}$.



Application 2 – Vitesse de phase

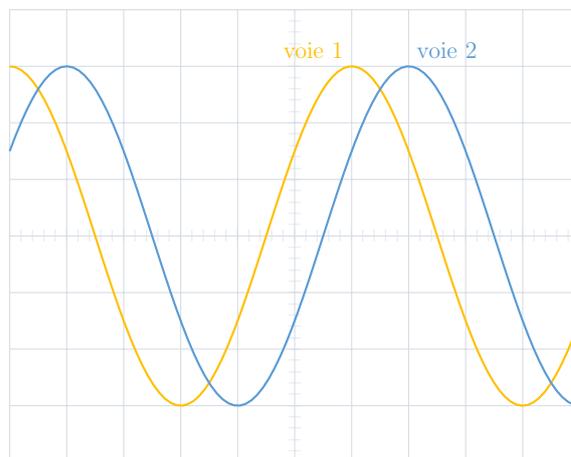
On considère une onde progressive sinusoïdale de la forme $s(x, t) = s_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$ et deux points du milieu de propagation d'abscisse x et $x + dx$.

1. À l'instant $t + dt$, le signal mesuré en $x + dx$ a la même phase que le signal mesuré en x à l'instant t . Exprimer la relation entre dx et dt . En déduire l'expression de la vitesse de phase c .
2. Sur un même graphique, représenter les signaux $s(x, t)$ et $s(x + dx, t)$ pour $dx = \lambda/4$, dans le cas où $\varphi_0 = 0$.

Application 3 – Déphasage dû à la propagation

Un haut-parleur émet une onde sonore de fréquence $f = 1500 \text{ Hz}$ et d'amplitude s_0 , qui se propage dans l'air à la célérité $c = 342 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On mesure le signal émis par le haut-parleur à l'aide de deux microphones M_1 et M_2 placés à des distances x_1 et x_2 du haut-parleur, tel que $x_2 > x_1$. L'oscilloscope est synchronisé sur la voie 1 associée au signal de M_1 .

1. Faire un schéma et donner l'expression de l'onde émise par le haut-parleur.
2. Exprimer le déphasage $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ entre les signaux reçus par les micros.
3. La figure ci-dessus représente l'écran de l'oscilloscope pour une configuration donnée. Déterminer la valeur de $\Delta\varphi$.



- Décrire l'évolution de la courbe de la voie 2 quand on éloigne le micro 2 du haut-parleur.
- On éloigne progressivement le micro 2 d'une distance d jusqu'à ce que les deux signaux soient en phase. Exprimer, puis calculer d .

Application 4 – Limites de diffraction

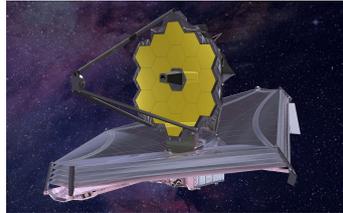
- Estimer la limite de résolution angulaire des instruments optiques représentés ci-dessous.

Appareil photo



$\lambda \sim$, $D =$

James Webb Space Telescope



$\lambda \sim 1 \mu\text{m}$, $D = 6,5 \text{ m}$

Radiotélescope FAST, Chine

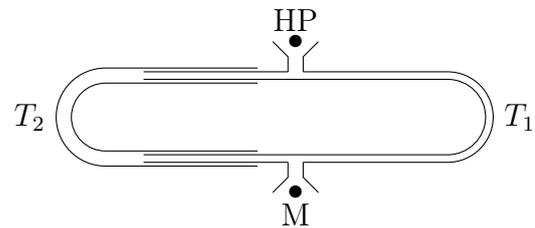


$\nu \sim 300 \text{ MHz}$, $D = 500 \text{ m}$

- Quelle partie de l'œil est susceptible de limiter sa résolution angulaire? Proposer une estimation de la limite de résolution angulaire liée à la diffraction.
- Expliquer qualitativement l'intérêt d'utiliser un laser violet (Blu-Ray) plutôt qu'un laser rouge (DVD) pour le stockage de l'information.

Application 5 – Trombone de Koenig

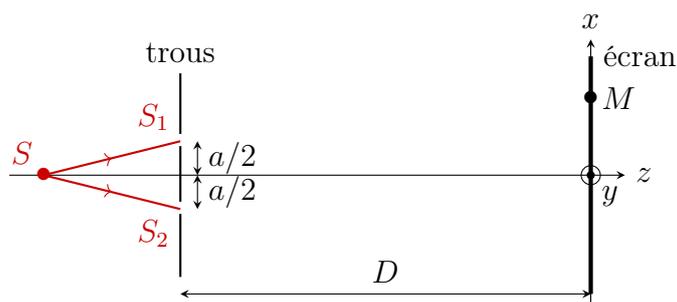
Le trombone de Koenig est un dispositif de laboratoire permettant de faire interférer deux ondes sonores ayant suivi des chemins différents. Le haut-parleur, alimenté par un GBF, émet un son de fréquence $f = 1500 \text{ Hz}$. On mesure le signal à la sortie avec un microphone branché sur un oscilloscope.



En déplaçant la partie mobile T_2 , on fait varier l'amplitude du signal observé. Elle passe deux fois consécutives par une valeur minimale lorsqu'on déplace T_2 de $d = (11,5 \pm 0,2) \text{ cm}$. Déterminer la valeur de la célérité du son dans l'air à 20°C , température à laquelle a lieu l'expérience.

Application 6 – Expérience des Trous d'Young

On considère le dispositif représenté ci-dessous, placé dans l'air, éclairé par une source lumineuse ponctuelle monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ .



On suppose que le diamètre des deux trous identiques est suffisamment petit pour que tout l'écran soit éclairé uniformément par chacun des trous.

1. Que peut-on dire de la différence de chemin optique entre la source S et chacun des trous situés en S_1 et S_2 ?
2. Le point M situé sur l'écran est repéré par ses coordonnées (x, y) . On suppose $a \ll D$, ainsi que $|x| \ll D$ et $|y| \ll D$.
Exprimer, de deux manières différentes, la différence de chemin optique δ entre les chemins (SS_1M) et (SS_2M) .
3. En déduire l'allure de la figure d'interférence et la position des zones lumineuses.
4. Donner l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , D et a . Faire l'application numérique pour $\lambda = 532 \text{ nm}$, $D = 1,0 \text{ m}$ et $a = 1,0 \text{ mm}$.
5. Quel serait l'effet d'une modification de la position de la source S ?

1 Exemples de signaux

Définition

Un **signal** $s(t)$ est une grandeur physique qui dépend du temps.

Dans ce chapitre on s'intéresse à la propagation de tels signaux.

Définition

On appelle **onde** une perturbation locale des propriétés physiques d'un milieu se propageant dans l'espace à une vitesse finie appelée **célérité** c .

On peut distinguer différents types d'ondes, associées à des propriétés physiques différentes.

Type d'onde	Milieu de propagation	Grandeurs physiques

On peut distinguer les ondes :

- **longitudinales**, où la direction de la perturbation est la même que celle de la propagation ;
- **transversales**, où la direction de la perturbation est perpendiculaire à celle de la propagation.

 [Simulation d'une onde élastique dans un solide](#)

`chap03-onde_acoustique_solide.py`

2 Ondes progressives à une dimension

2.1 Expression d'une onde progressive

Pour modéliser le phénomène de propagation, on introduit l'**onde progressive à une dimension** qui se propage **sans atténuation** et **sans déformation** à **vitesse constante** c dans la direction d'un axe Ox . C'est le cas si le milieu est transparent, non-dispersif et illimité.

L'onde progressive est décrite par une fonction qui **dépend du temps et de l'espace**, que l'on peut écrire sous la forme :

$$s(x, t).$$

s représente la quantité qui est perturbée lors du passage de l'onde, x la position et t le temps.