

Diffraction, interférences

Cours de sciences physiques - niveau 1re

Quand on éclaire une fente très fine avec un laser, la tache obtenue sur le mur est étonnamment large et frangée, alors que la lumière devrait simplement passer. Quand on en éclaire deux, des bandes sombres apparaissent là où l'on attendait de la lumière. Ces observations sont impossibles à expliquer avec des rayons rectilignes : la **diffraction et les interférences** prouvent que la lumière se comporte comme une onde, au même titre que le son ou les vagues.

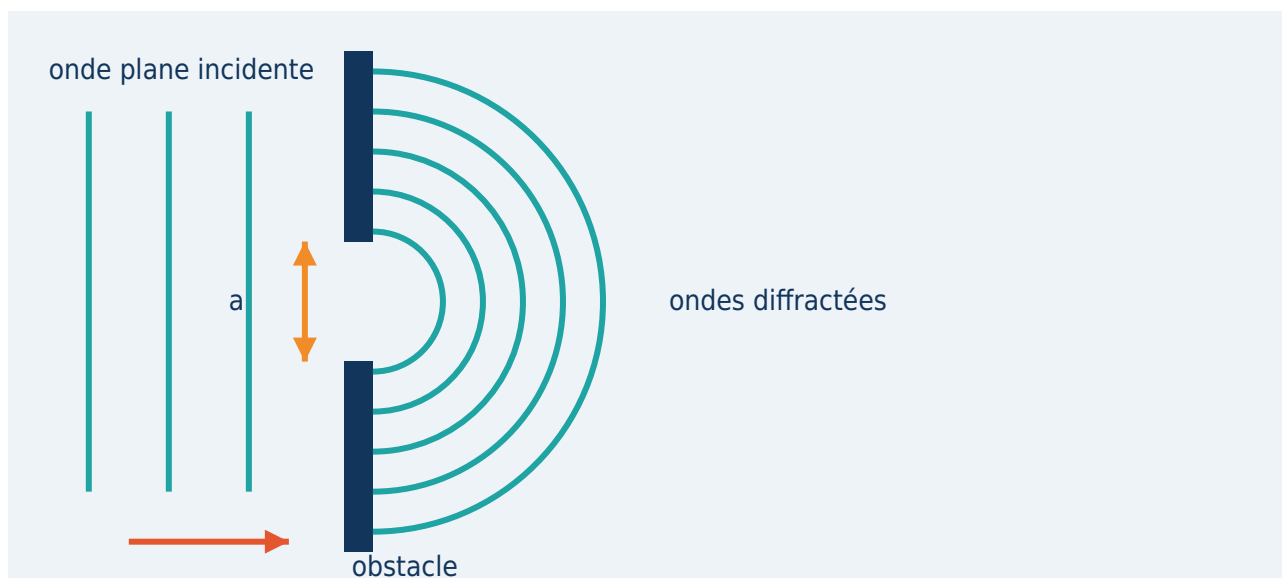
Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

La diffraction : une onde qui contourne les obstacles

Dans une cuve à ondes, une onde plane qui rencontre une ouverture étroite ressort sous la forme d'une onde circulaire qui s'étale dans toutes les directions, au lieu de continuer en faisceau rectiligne. C'est la **diffraction**.

DÉFINITION

La **diffraction** est le phénomène par lequel une onde est étalée dans des directions différentes de sa direction de propagation lorsqu'elle rencontre une ouverture ou un obstacle de dimension **petite ou comparable à sa longueur d'onde**. La fréquence et la longueur d'onde de l'onde ne sont pas modifiées.



Une onde plane qui traverse une ouverture dont la largeur a est de l'ordre de λ est diffractée : elle ressort étalée dans toutes les directions.

Plus l'ouverture est **étroite** par rapport à la longueur d'onde, plus la diffraction est marquée. Si a est très grand devant λ , l'onde se propage presque en ligne droite et la diffraction est à peine visible. C'est pourquoi on entend derrière un mur (λ du son : de quelques centimètres à quelques mètres) mais on ne voit pas derrière (λ de la lumière : environ 5×10^{-7} m).

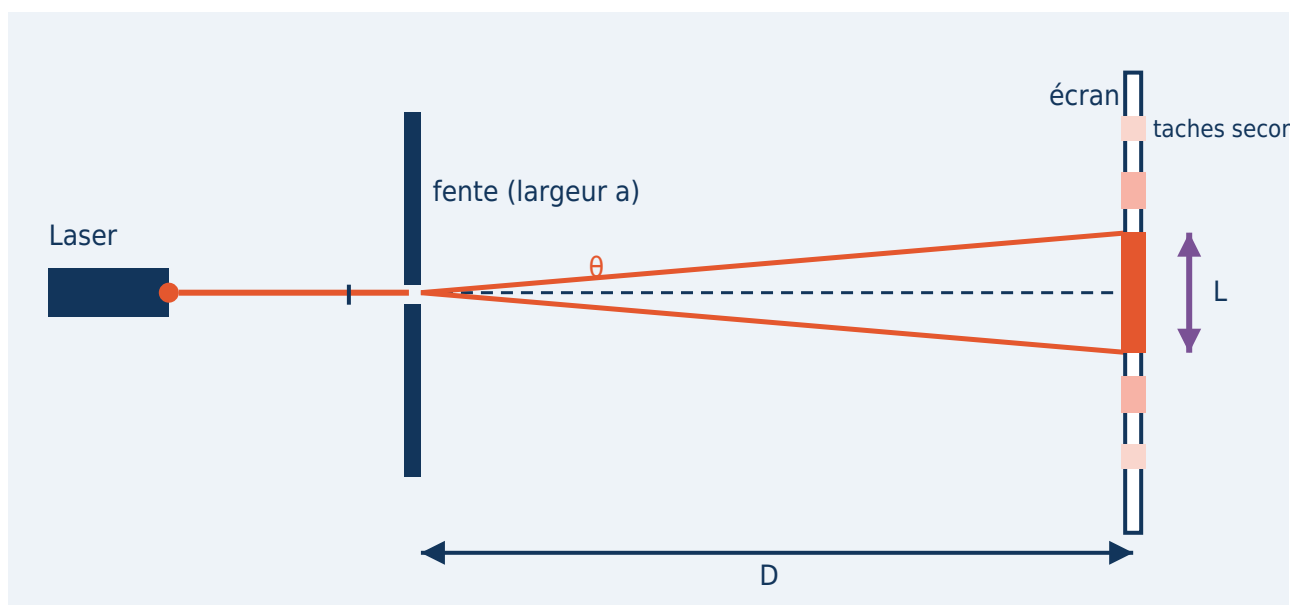
Diffraction de la lumière par une fente

Avec un laser et une fente verticale de largeur a (quelques dixièmes de millimètre ou moins), on observe sur un écran une figure de diffraction étalée **perpendiculairement à la fente** : une tache centrale large et brillante, bordée de taches secondaires beaucoup moins lumineuses, séparées par des zones sombres.

FORMULE À RETENIR

$$\theta = \lambda \div a$$

θ : demi-ouverture angulaire de la tache centrale, en radians (rad) ; λ : longueur d'onde, en m ; a : largeur de la fente, en m. Valable pour des angles petits.



La tache centrale est limitée par les deux premières extinctions : sa largeur L est liée à l'écart angulaire 2θ et à la distance D de l'écran.

Sur l'écran placé à la distance D de la fente, pour θ petit, $\tan \theta \approx \theta$ et la moitié de la largeur L de la tache centrale vaut $D \times \theta$. On obtient donc :

FORMULE À RETENIR

$$L = 2 \times D \times \theta = 2 \lambda D \div a$$

L, D et a en mètres ; λ en mètres. La tache est d'autant plus large que la fente est étroite.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Un laser vert de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ éclaire une fente de largeur $a = 0,050 \text{ mm}$. On a $\theta = 532 \times 10^{-9} \div 5,0 \times 10^{-5} \approx \mathbf{1,1 \times 10^{-2} \text{ rad}}$ (environ $0,61^\circ$). À $D = 1,50 \text{ m}$, la largeur de la tache centrale est $L = 2 \times 1,50 \times 1,064 \times 10^{-2} \approx \mathbf{3,2 \times 10^{-2} \text{ m}}$, soit $3,2 \text{ cm}$.

ERREUR FRÉQUENTE

Ne pas confondre θ (demi-largeur angulaire, en radians) et la largeur L de la tache. Pense aussi à convertir la largeur de la fente en mètres : $0,050 \text{ mm} = 5,0 \times 10^{-5} \text{ m}$. Un fil fin donne la même figure qu'une fente de même largeur.

Les interférences : quand deux ondes se superposent

Quand deux ondes de **même fréquence** issues de deux sources **cohérentes** (déphasage constant) se rencontrent, leurs elongations s'additionnent en chaque point. Selon le retard entre les deux ondes, la somme est plus grande ou plus petite que chacune : ce sont les **interférences**.

DÉFINITION

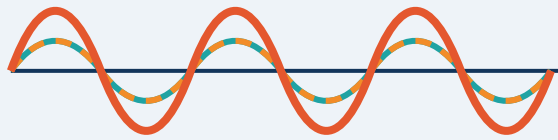
La **différence de marche** δ en un point M est la différence entre les distances parcourues par les deux ondes jusqu'à M : $\delta = |d_2 - d_1|$. Elle détermine le déphasage des deux ondes en M.

PROPRIÉTÉ

Interférences **constructives** (amplitude maximale, lumière brillante, son fort) : $\delta = k \times \lambda$, avec k entier. Interférences **destructives** (amplitude minimale ou nulle, obscurité, silence) : $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$, avec k entier.

Interférences constructives

$\delta = k \lambda$: amplitude doublée



onde 1 onde 2 (pointillés) somme

Interférences destructives

$\delta = (k + \frac{1}{2}) \lambda$: amplitude nulle



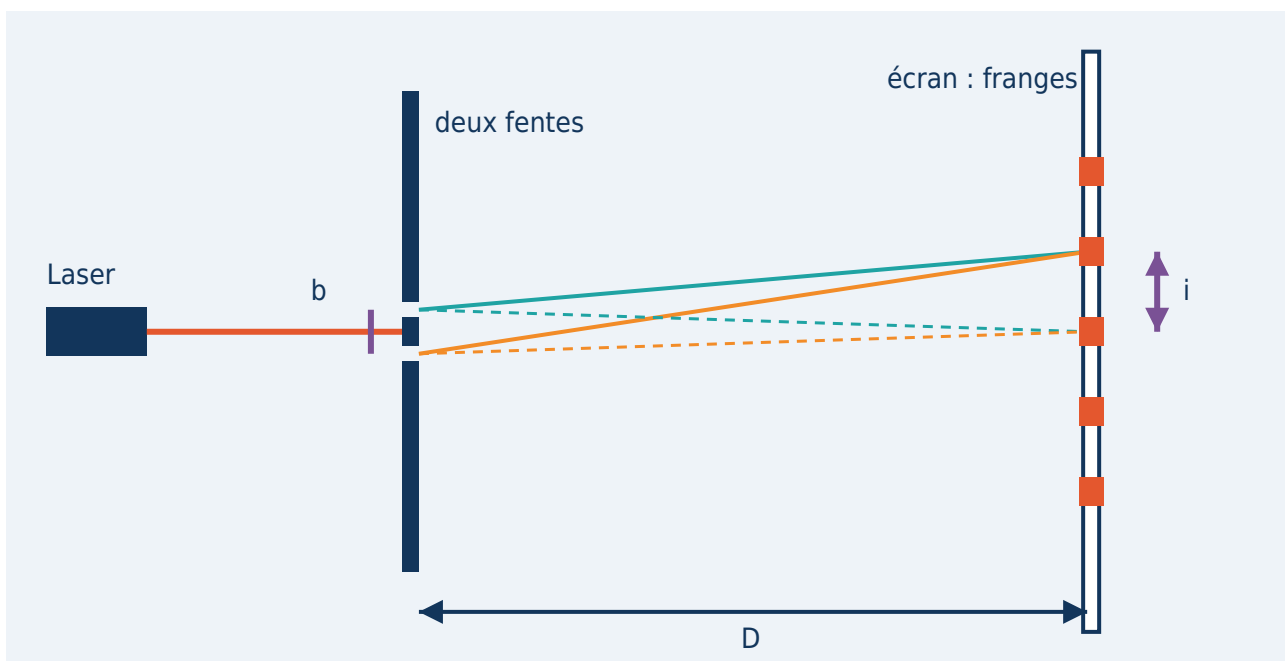
Superposition de deux ondes de même amplitude : la somme (en rouge) dépend de leur déphasage.

EXEMPLE

Deux ondes lumineuses de longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$ arrivent en un point avec $\delta = 1,80 \mu\text{m}$. Rapport : $\delta \div \lambda = 1\,800 \div 600 = 3$: entier, donc interférences **constructives**. Avec $\delta = 2,10 \mu\text{m}$: $2\,100 \div 600 = 3,5$, demi-entier : interférences **destructives**.

Les fentes de Young et l'interfrange

Pour obtenir deux sources cohérentes en optique, on éclaire **deux fentes très fines** distantes de b avec un même laser : chaque fente se comporte, par diffraction, comme une source qui éclaire tout l'écran. Les deux ondes se superposent et donnent des **franges** brillantes et sombres régulièrement espacées.



Les fentes de Young : les franges brillantes sont séparées de l'interfrange i ; elles correspondent à $\delta = k \lambda$.

Pour des angles petits, la différence de marche en un point de l'écran situé à la distance x

de la frange centrale vaut $\delta = b \times x \div D$. Les franges brillantes sont aux positions où $\delta = k \lambda$, donc $x_k = k \times \lambda D \div b$. L'écart entre deux franges brillantes consécutives est l'**interfrange**.

FORMULE À RETENIR

$$i = \lambda \times D \div b$$

i , λ , D et b en mètres. Les franges sont d'autant plus espacées que les fentes sont proches (b petit) et que l'écran est loin (D grand).

APPLICATION NUMÉRIQUE

$\lambda = 633 \text{ nm}$, $b = 0,25 \text{ mm}$ et $D = 1,50 \text{ m}$: $i = 633 \times 10^{-9} \times 1,50 \div 2,5 \times 10^{-4} \approx \mathbf{3,8 \times 10^{-3} \text{ m}}$, soit 3,8 mm. Les franges brillantes sont à 0 ; 3,8 ; 7,6 mm... du centre.

Ce que prouvent la diffraction et les interférences

La diffraction et les interférences sont des propriétés **caractéristiques des ondes**. Observées avec la lumière, elles montrent que celle-ci a un comportement ondulatoire. Avec un son ou une onde à la surface de l'eau, on les observe de la même façon. Deux lampes ordinaires ne donnent pas de franges : leurs émissions n'ont pas de déphasage constant (sources non cohérentes).

L'essentiel à retenir

- La diffraction étale une onde qui rencontre une ouverture ou un obstacle de dimension comparable à λ .
- Pour une fente de largeur a : $\theta = \lambda \div a$ (rad) et $L = 2 \lambda D \div a$.
- Les interférences résultent de la superposition de deux ondes cohérentes.
- Constructives si $\delta = k\lambda$; destructives si $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$.
- Fentes de Young : $i = \lambda D \div b$.
- Diffraction et interférences prouvent le caractère ondulatoire de la lumière.