

Diffraction et interférences

TERMINALE

1 Le phénomène de diffraction

Définition

La **diffraction** est l'étalement d'une onde lorsqu'elle rencontre une ouverture ou un obstacle. L'onde ne se propage plus en ligne droite : elle « déborde » derrière l'obstacle.

Propriété

Le phénomène est d'autant plus marqué que la taille a de l'ouverture est **petite devant la longueur d'onde** λ , ou du même ordre de grandeur. Il est **négligeable** si $a \gg \lambda$.

La diffraction ne modifie ni la **fréquence**, ni la **longueur d'onde**, ni la **célérité** de l'onde : seule la *direction* de propagation change.

La diffraction est la signature d'un comportement **ondulatoire** : c'est elle qui a établi la nature ondulatoire de la lumière. Au quotidien, elle explique qu'on entende une conversation derrière l'angle d'un couloir (le son a une longueur d'onde de l'ordre du mètre), alors qu'on ne voit pas à travers — la lumière, mille fois plus « fine », se diffracte trop peu.

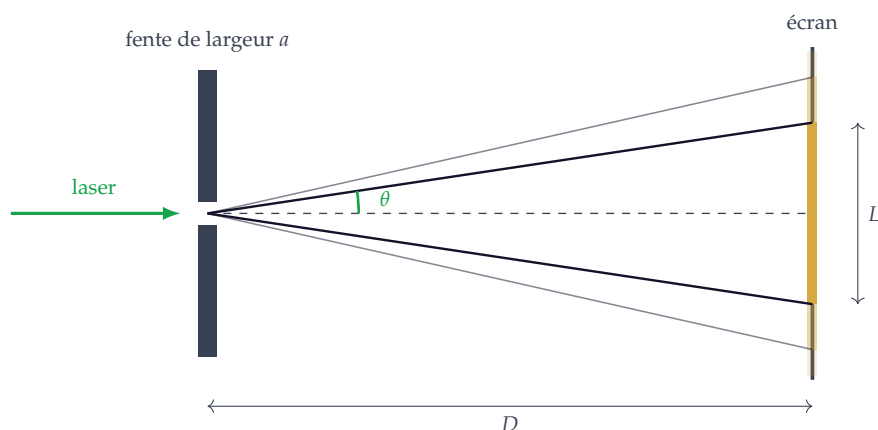
2 L'angle caractéristique de diffraction

Propriété

Pour une fente rectangulaire de largeur a éclairée par une onde de longueur d'onde λ , l'**angle caractéristique** de diffraction — demi-angle d'ouverture de la tache centrale — vaut

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

θ en **radians**, λ et a dans la *même* unité.



Propriété

La tache centrale, deux fois plus large que les taches latérales, a pour demi-largeur $L/2 = D \tan \theta \approx D \theta$ lorsque l'angle est petit. On en déduit la relation la plus utile en pratique :

$$L = \frac{2 \lambda D}{a}$$

Méthode — Mesurer la largeur d'une fente

Un laser rouge ($\lambda = 633 \text{ nm}$) éclaire une fente placée à $D = 2,0 \text{ m}$ d'un écran. On mesure une tache centrale de largeur $L = 2,5 \text{ cm}$.

1. On isole a dans la relation précédente :

$$a = \frac{2 \lambda D}{L} = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 2,0}{2,5 \times 10^{-2}} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,10 \text{ mm}$$

2. Vérification de l'angle caractéristique :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{633 \times 10^{-9}}{1,0 \times 10^{-4}} = 6,3 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

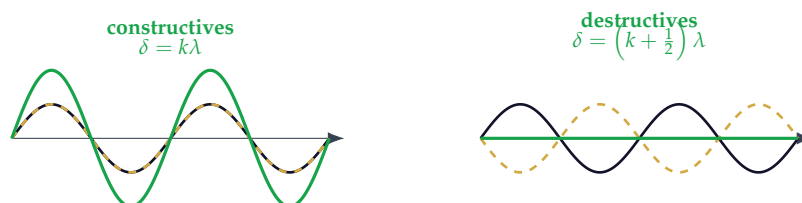
soit $0,36^\circ$: l'approximation des petits angles est largement justifiée. ✓

3. Cohérence du modèle : $a = 0,10 \text{ mm}$ vaut environ 160λ . L'ouverture reste bien plus grande que la longueur d'onde, mais suffisamment fine pour que la diffraction soit visible.

! Les deux erreurs classiques : confondre L (largeur *totale* de la tache centrale) et $L/2$, et oublier que θ est en radians. Un contrôle rapide : plus la fente est **fine**, plus la tache est **large** — les deux grandeurs varient en sens inverse.

3 Interférences de deux ondes**Définition**

Deux ondes de même fréquence qui se superposent en un point donnent une onde résultante d'amplitude différente : c'est le phénomène d'**interférences**. Il n'est observable que si les deux sources sont **synchrones** (même fréquence) et **cohérentes** (déphasage constant dans le temps).

**Définition**

La **différence de marche** δ en un point M est l'écart entre les distances parcourues par les deux ondes :

$$\delta = |S_2M - S_1M|$$

Propriété

Pour deux sources ponctuelles **en phase** dans un milieu homogène :

$$\boxed{\delta = k \lambda} \text{ (interférences **constructives**)} \quad \boxed{\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \lambda} \text{ (interférences **destructives**)}$$

avec k entier relatif. Constructives : les ondes arrivent *en phase*, l'amplitude est **doublée**. Destructives : elles arrivent *en opposition de phase* et s'annulent.

Méthode — Cuve à ondes

Deux pointes vibrant en phase à la surface de l'eau émettent des ondes de longueur d'onde $\lambda = 1,5 \text{ cm}$. Un point M est situé à $S_1M = 12,0 \text{ cm}$ et $S_2M = 16,5 \text{ cm}$.

1. Différence de marche :

$$\delta = 16,5 - 12,0 = 4,5 \text{ cm}$$

2. On la compare à λ :

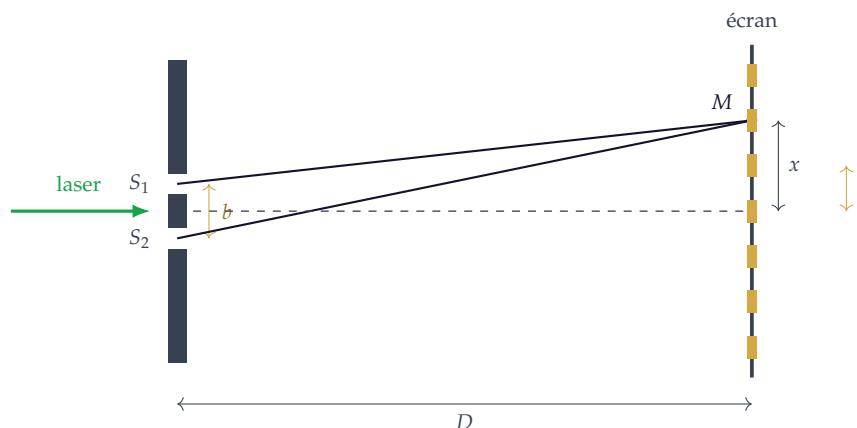
$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{4,5}{1,5} = 3,0$$

Le rapport est un **entier** : les interférences sont **constructives**. L'eau vibre avec une amplitude maximale en M .

3. En un point N tel que $\delta' = 5,25 \text{ cm}$, on aurait $\delta' / \lambda = 3,5$: un demi-entier, donc des interférences **destructives**. La surface y resterait immobile.

4 Les trous d'Young et l'interfrange**Définition**

Le dispositif des **trous d'Young** sépare la lumière d'une source unique en deux fentes distantes de b , ce qui garantit la cohérence. On observe sur un écran placé à la distance D une alternance de franges brillantes et sombres.

**Méthode — Établir l'expression de l'interfrange**

On donne l'expression linéarisée de la différence de marche en un point M d'abscisse x sur l'écran :

$$\delta = \frac{b x}{D}$$

1. Une frange est **brillante** là où les interférences sont constructives, c'est-à-dire $\delta = k\lambda$:

$$\frac{b x_k}{D} = k \lambda \quad \Rightarrow \quad x_k = k \frac{\lambda D}{b}$$

2. L'**interfrange** i est la distance entre deux franges brillantes consécutives, donc entre x_{k+1} et x_k :

$$i = x_{k+1} - x_k = (k+1) \frac{\lambda D}{b} - k \frac{\lambda D}{b}$$

$$i = \frac{\lambda D}{b}$$

3. L'écart ne dépend pas de k : les franges sont **régulièrement espacées**. C'est ce qui permet de mesurer i avec précision, en relevant la largeur de 10 interfranges plutôt qu'un seul.

Méthode — Exploiter une figure d'interférences

Deux fentes distantes de $b = 0,30 \text{ mm}$ sont éclairées par un laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$). L'écran est à $D = 2,0 \text{ m}$.

1. Interfrange attendu :

$$i = \frac{\lambda D}{b} = \frac{633 \times 10^{-9} \times 2,0}{0,30 \times 10^{-3}} = 4,2 \times 10^{-3} \text{ m} = 4,2 \text{ mm}$$

2. Sur la photographie, on mesure 42 mm pour 10 interfranges : la mesure confirme le calcul, avec dix fois moins d'incertitude relative. ✓

3. Nature des interférences au point d'abscisse $x = 6,3 \text{ mm}$:

$$\delta = \frac{b x}{D} = \frac{0,30 \times 10^{-3} \times 6,3 \times 10^{-3}}{2,0} = 9,5 \times 10^{-7} \text{ m} \quad \frac{\delta}{\lambda} = \frac{9,5 \times 10^{-7}}{633 \times 10^{-9}} = 1,5$$

Un demi-entier : les interférences sont **destructives**, le point est au milieu d'une frange sombre.

Ne confondez pas les deux dispositifs, qui font intervenir des grandeurs différentes :

	Diffraction	Interférences
Dispositif	une fente de largeur a	deux fentes distantes de b
Figure	tache centrale large	franges régulières
Relation	$L = \frac{2\lambda D}{a}$	$i = \frac{\lambda D}{b}$

Dans les deux cas, l'écart mesuré est **proportionnel** à λ et à D , et **inversement proportionnel** à la dimension de l'ouverture.

À retenir

- La **diffraction** est notable quand a est de l'ordre de λ . Elle ne change ni λ , ni f , ni la célérité.
- **Angle caractéristique** : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ (en radians), et largeur de la tache centrale $L = \frac{2\lambda D}{a}$.
- Deux sources doivent être **synchrone**s et **cohérentes** pour interférer.
- **Différence de marche** $\delta = |S_2M - S_1M|$: constructives si $\delta = k\lambda$, destructives si $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$.
- **Trous d'Young** : $\delta = \frac{bx}{D}$ et interfrange $i = \frac{\lambda D}{b}$, indépendant de k .
- **Méthode** : pour trancher entre constructif et destructif, calculer δ/λ — entier ou demi-entier.
- **Piège** : a est la largeur d'une fente (diffraction), b l'écart entre deux fentes (interférences). Les deux relations se ressemblent, avec un facteur 2 en plus pour la diffraction.