

Diffraction des ondes lumineuses



Christian Huygens (17^{ème})



Augustin Fresnel (18^{ème}-19^{ème})

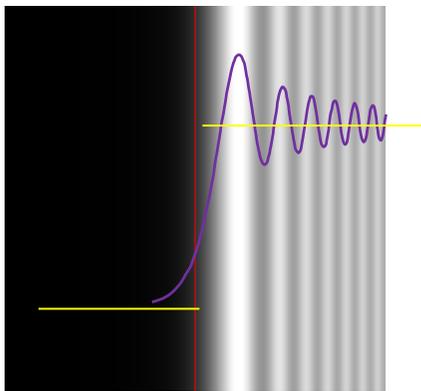
Optique géométrique = approximation lorsque la dimension caractéristique de l'ouverture a est telle que $a \gg \lambda$.

Principe de Huygens-Fresnel

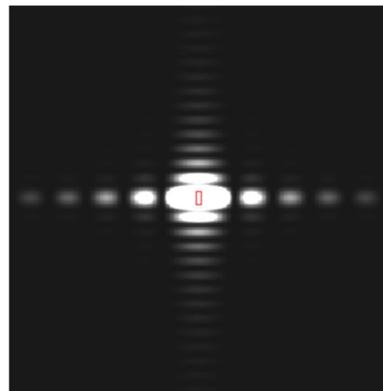
Principe de Huygens-Fresnel

- Un point P d'une ouverture (ou pupille) diffractante (Σ) éclairée par une source monochromatique S peut être considérée comme une **source secondaire** fictive qui réémet une ondelette sphérique dans toutes les directions (Huygens).
- **L'amplitude de cette onde est proportionnelle à celle de l'onde incidente et à une surface élémentaire $d\sigma(P)$ de (Σ) centrée en P**, sa phase est celle de l'onde incidente (Fresnel) (i.e. l'amplitude complexe instantanée réémise par P est proportionnelle à $d\sigma$ et à l'amplitude complexe instantanée de l'onde émise par S et reçue en P).
- Les sources secondaires fictives sont **cohérentes**.

Exemples (simulations)



Diffraction de Fresnel (bord d'écran)



Diffraction de Fraunhofer (trou rectangulaire)

Traits rouges : bord de l'écran et dimensions relatives du trou

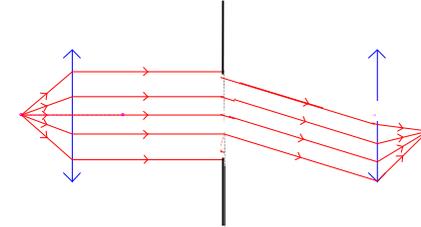
Figures réalisées grâce à l'applet : <http://www.falstad.com/diffraction/>.

Diffraction de Fraunhofer par une ouverture plane

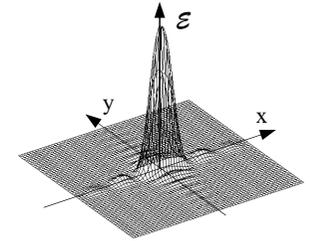
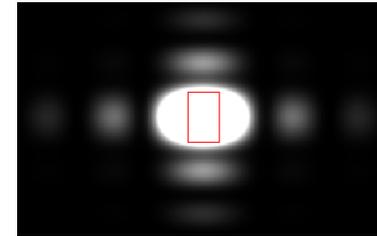
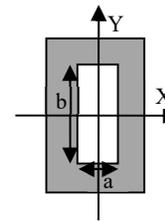
Diffraction de Fraunhofer = diffraction dans le cas où S et M sont à l'infini.

Réalisations pratiques

- Laser + pupille + écran éloigné.
- Source ponctuelle S au foyer objet d'une lentille convergente + pupille + lentille + écran au foyer image de la dernière lentille.



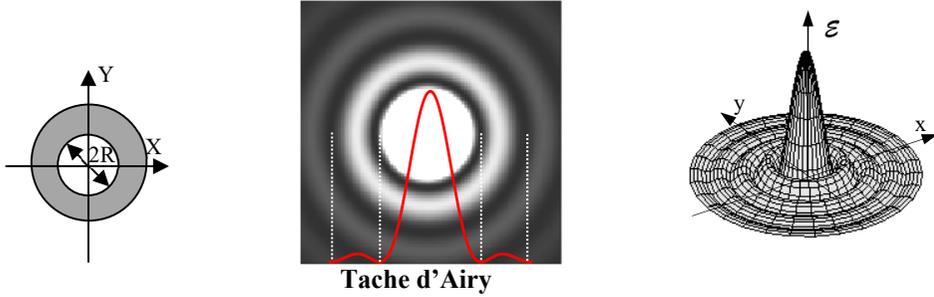
Diffraction par une ouverture rectangulaire (source ponctuelle)



Contraste modifié pour voir davantage de taches.

- **L'éclairement est maximal sur l'image géométrique de la source.**
- **Les dimensions caractéristiques d de la pupille diffractante interviennent par leurs inverses $1/d$ dans l'éclairement :** $\mathcal{E}(x, y)$ présente un pic central de largeur $\Delta x = \frac{2\lambda f'}{a}$ selon Ox et $\Delta y = \frac{2\lambda f'}{b}$ selon Oy.
- **Si $\lambda \ll a$ et $\lambda \ll b$, la tache centrale tend à se confondre avec l'image géométrique : la diffraction devient négligeable (approximation $\lambda \rightarrow 0$ de l'optique géométrique).**
- Une fente fine ne diffracte notablement que dans une direction perpendiculaire à la fente.

Diffraction par une ouverture circulaire (source ponctuelle)



Tache d'Airy

Contraste modifié pour voir davantage d'anneaux.

L'image de la source ponctuelle S est une tache entourée d'anneaux de très faible intensité, appelée tache d'Airy, centrée sur l'image géométrique S'.

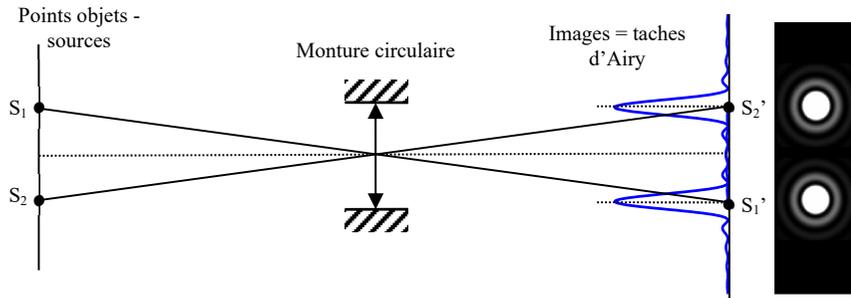
L'énergie lumineuse est principalement concentrée dans la frange centrale de rayon angulaire $\theta = 0,61 \lambda/R$.

	Pupille rectangulaire de demi-largeur $a/2$ (largeur a)	Pupille circulaire de rayon R (largeur = diamètre = $2R$)	Pupille quelconque de dimension caractéristique d
Diamètre angulaire 2ε	$2\varepsilon = \frac{\lambda}{a/2}$	$2\varepsilon = 1,22 \frac{\lambda}{R}$	$2\varepsilon \approx \frac{\lambda}{d/2}$

La diffraction limite le pouvoir séparateur des instruments d'optique.

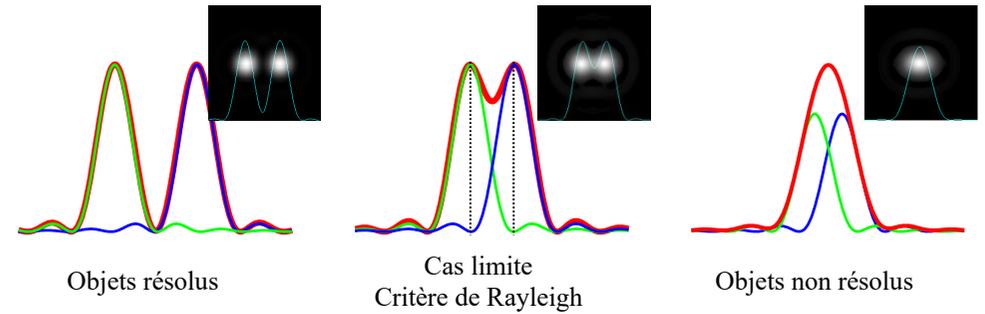
Critère de Rayleigh

Du fait de la diffraction sur les bords des montures, l'image S' d'un point S est une tache-image dont le rayon est d'autant plus faible que le rayon de la monture est grand. Deux points sources seront **résolus** si leurs images sont séparées.



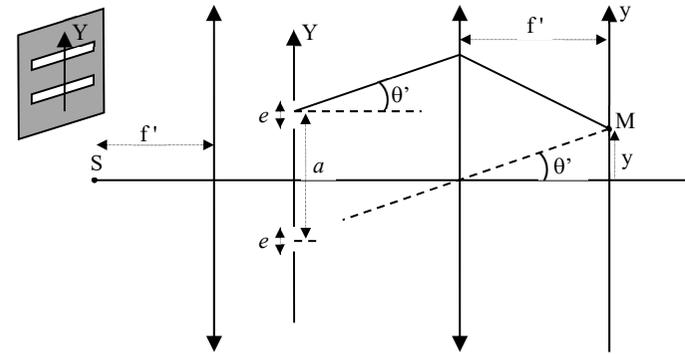
Cette capacité à former des images distinctes de deux objets voisins s'appelle le **pouvoir séparateur** (ou **pouvoir de résolution**) d'un instrument optique. Il est défini comme la distance angulaire minimale entre deux objets pour que leurs images soient séparées.

Un critère de séparation fréquemment utilisé est le critère de Rayleigh : les taches-images sont considérées comme séparées si le maximum d'intensité d'une tache correspond au minimum de l'autre (cf. figures ci-dessous).



Diffraction par plusieurs ouvertures

Fentes d'Young éclairées par une onde plane (source ponctuelle au foyer objet d'une lentille)
Fentes de largeur e (longueur $\gg e$) distantes de a .



L'éclairement est le produit d'un terme d'interférences $(1 + \cos 2\pi\delta/\lambda)$ par un terme de diffraction. On admet la généralité de ce résultat.

