



# Module d'Optique

3<sup>ème</sup> partie : Optique ondulatoire

© Fabrice Sincère (version 2.0)

<http://perso.orange.fr/fabrice.sincere>

# Chapitre 2 Diffraction

## 2-1- Introduction

Le phénomène de diffraction est commun à toutes les ondes.

Ex. Ondes à la surface de l'eau (fig. 1 et 2)



La diffraction augmente avec la petitesse des ouvertures.

La diffraction est totale pour des ouvertures de taille  $< \lambda$

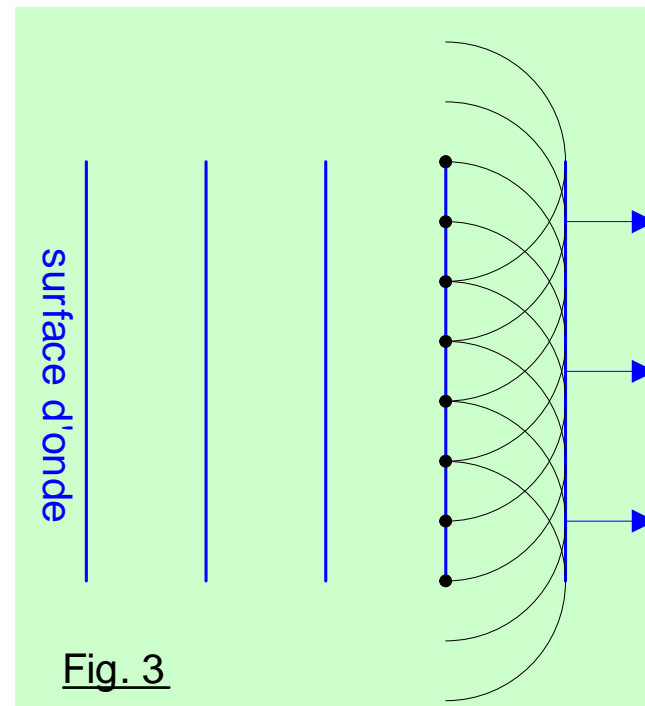
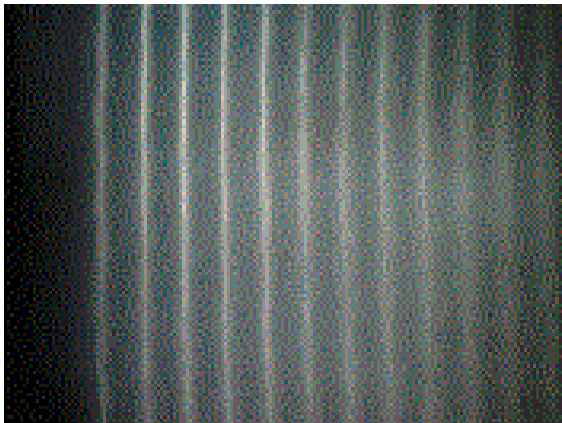
- Remarque

Le son se propage couramment par diffraction (on entend un son sans voir la source qui l'émet).

## 2-2- Principe de Huygens-Fresnel

“Tous les points d'une surface d'onde peuvent être considérés comme des sources secondaires qui émettent des ondes”.

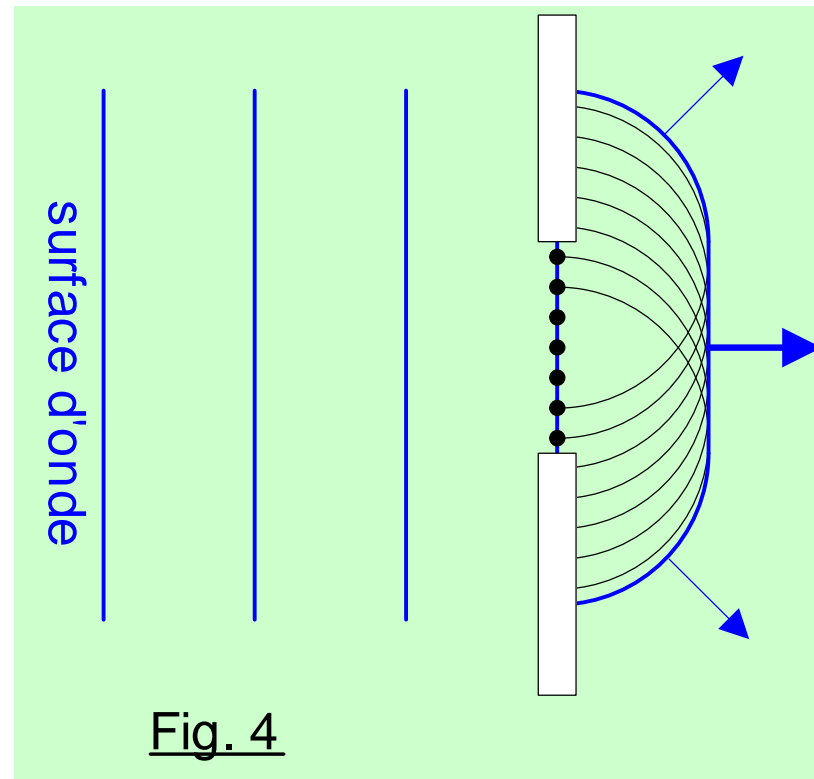
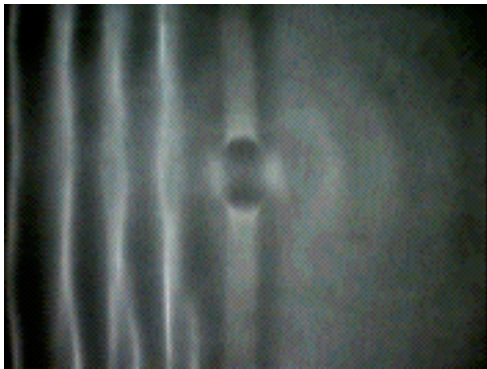
Ex. Onde plane



- Application à la diffraction

La diffraction est en fait un phénomène d'interférence entre une infinité de sources secondaires.

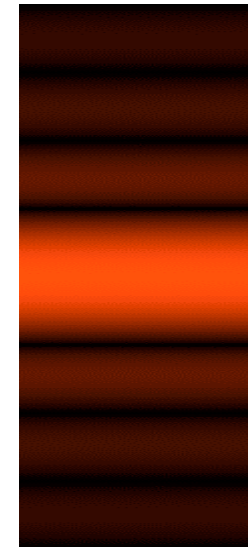
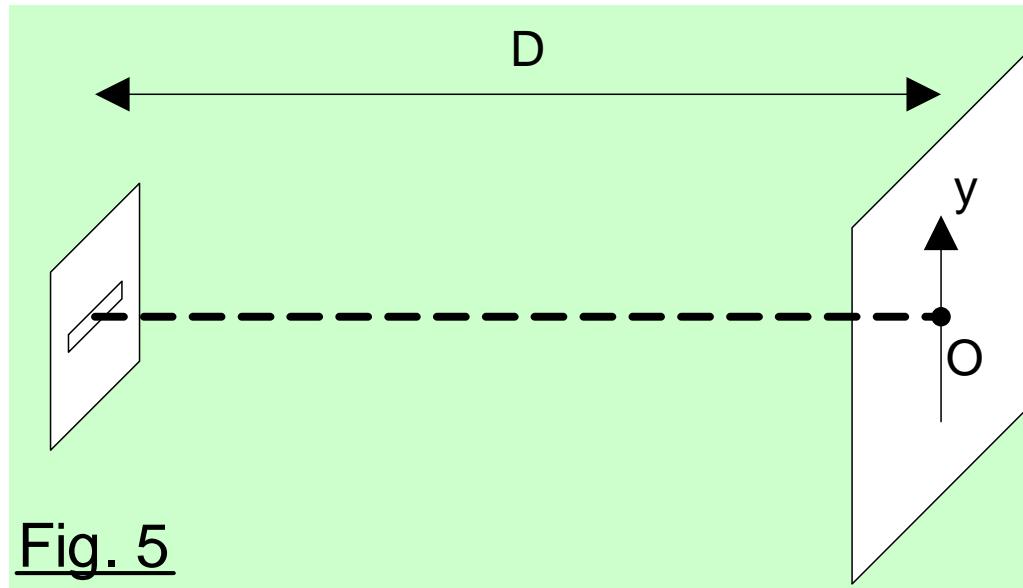
Ex. diffraction par une fente



Suivant les directions, nous aurons interférence constructive ou destructive.

## 2-3- Diffraction par une fente

- On éclaire la fente avec un laser rouge



- Observation : fig. 6

- Position des minimums (interférence destructive)

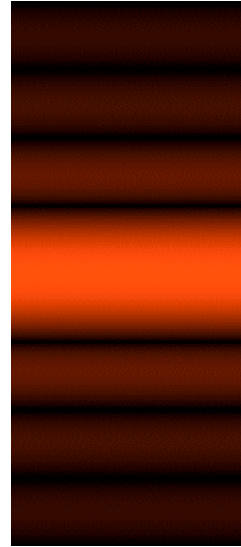
On montre que :

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{a}$$

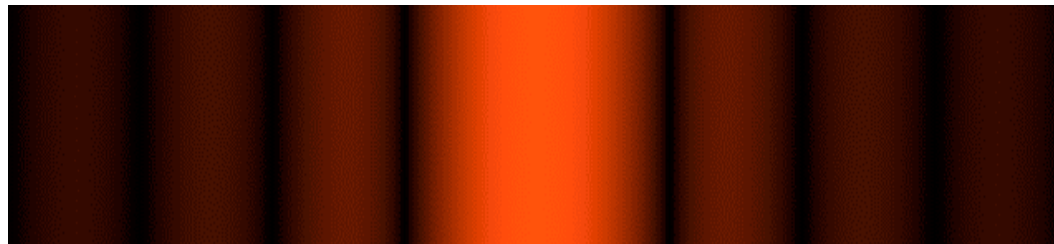
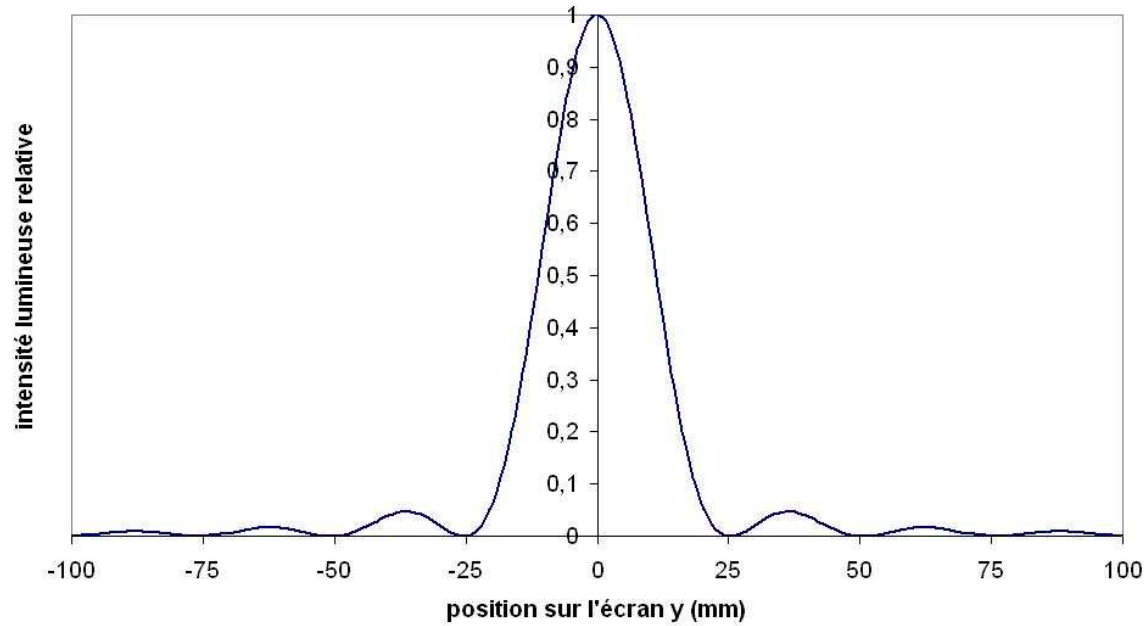
$n = 1$  : 1<sup>er</sup> minimum

$n = 2$  : 2<sup>ème</sup> minimum ...

$a$  : largeur de la fente



- Répartition de l'intensité lumineuse (fig. 7)



90 % de l'énergie lumineuse se trouve dans la frange centrale.

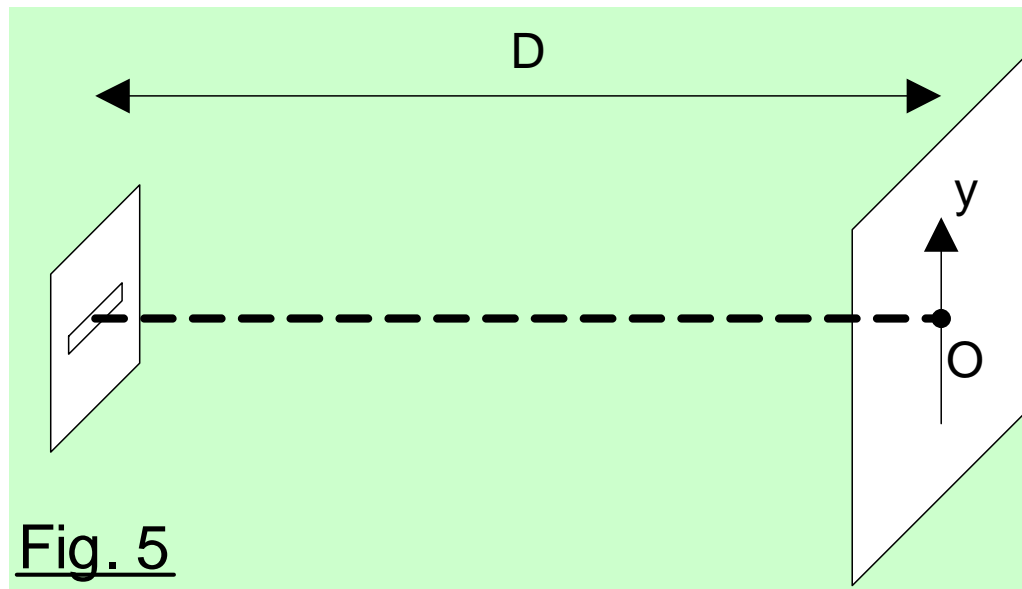
A.N.  $a = 50 \mu\text{m}$        $D = 2 \text{ m}$        $\lambda_{\text{air}} = 0,6328 \mu\text{m}$

Angle de divergence du 1<sup>er</sup> minimum :  $\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{a}$

$\Rightarrow \theta_1 = 0,73^\circ$

$\tan \theta_1 = y_1/D \Rightarrow y_1 = 25 \text{ mm}$

2<sup>ème</sup> minimum :  $\theta_2 = 1,45^\circ$        $y_2 = 50 \text{ mm} \dots$



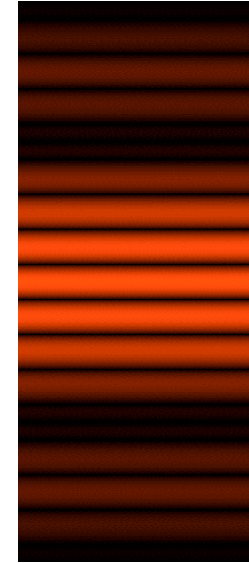
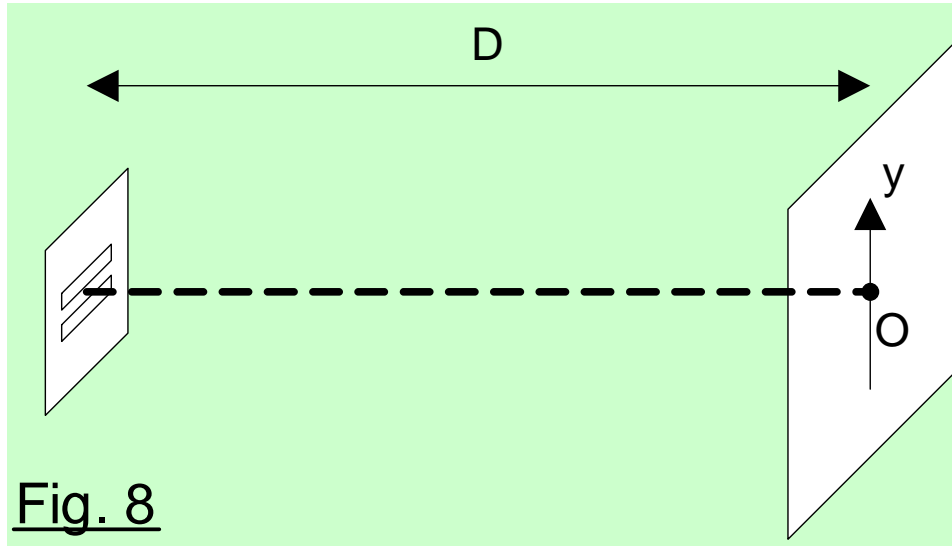
• Remarque

si  $a < \lambda$  :

diffraction totale (pas de minimum)



## 2-4- Diffraction par deux fentes parallèles (dispositif d'Young)



- Observation : fig. 9

- Explication : le phénomène de diffraction (fig. 11) se superpose au phénomène d'interférence (fig. 10).

fig. 10

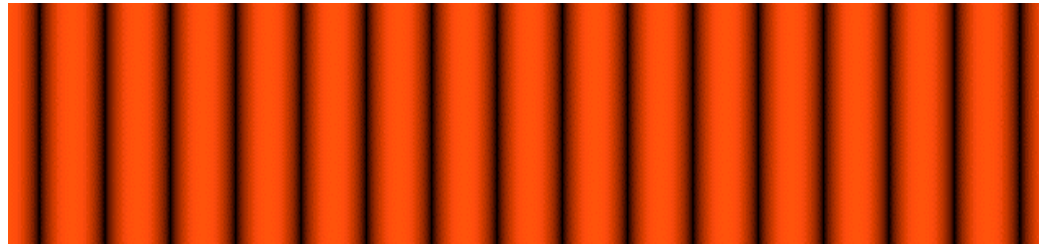
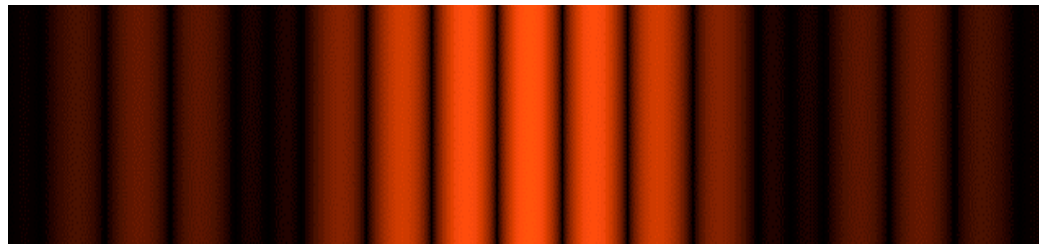


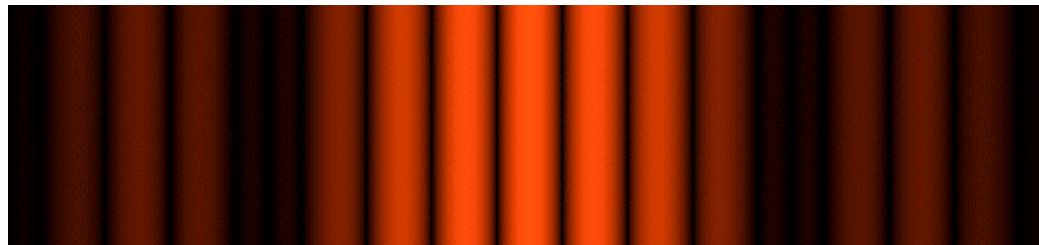
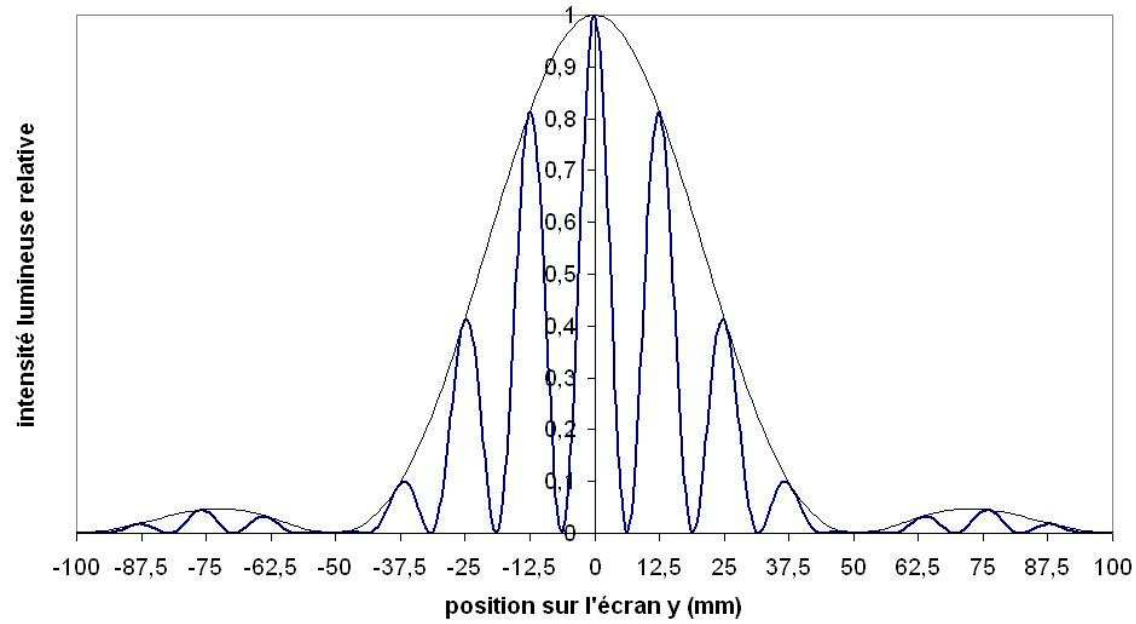
fig. 11



fig. 9



- Répartition de l'intensité lumineuse (fig. 12)



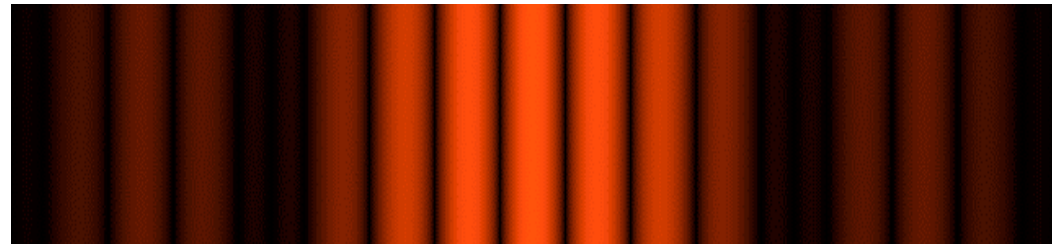
A.N. Calcul de l'interfrange

$a' = 100 \mu\text{m}$  (distance entre les deux fentes)

$D = 2 \text{ m}$

$\lambda_{\text{air}} = 0,6328 \mu\text{m}$

$i = \lambda D/a' = 12,5 \text{ mm}$



- Calcul de la largeur de la frange centrale de diffraction

$a = 25 \mu\text{m}$  (largeur d'une fente)

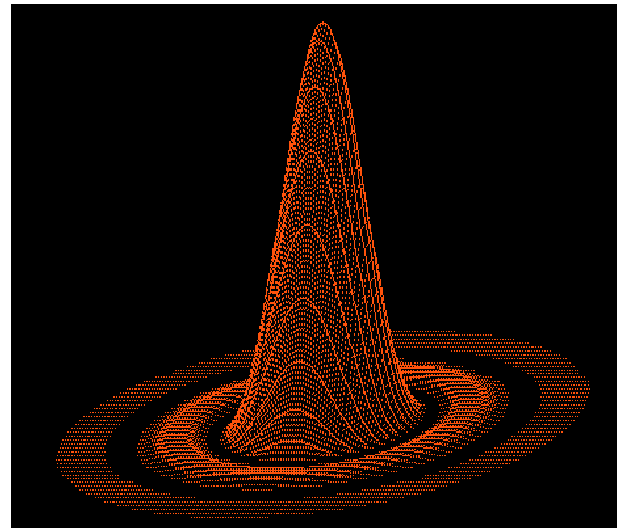
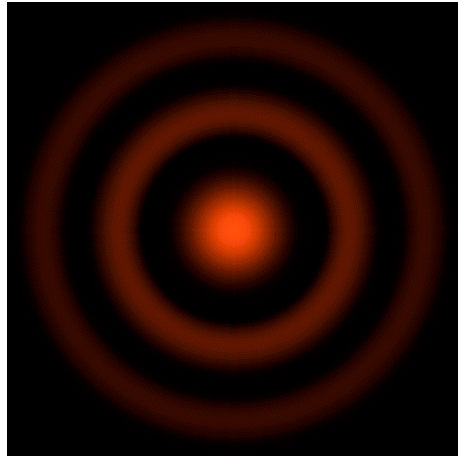
$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{a}$$

$$\Rightarrow \theta_1 = 1,43^\circ$$

$$2D \tan \theta_1 = 100 \text{ mm}$$

## 2-5- Diffraction par une ouverture circulaire

- Observation : fig. 13a

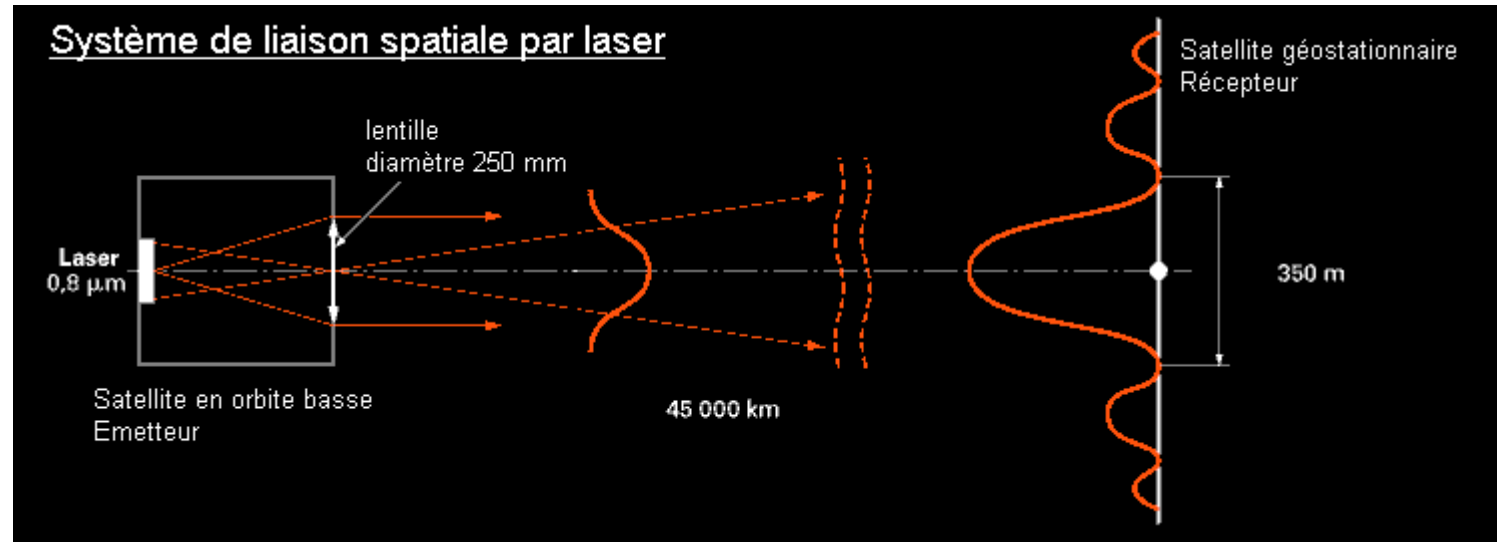


84 % de l'énergie se trouve dans la tache centrale ou *tache d'Airy* (fig. 13b).

- Position du premier minimum :

$$\sin \theta \approx 1,22 \frac{\lambda}{\text{diamètre}}$$

- A.N. Fig.14



diamètre de la lentille : 250 mm

$D = 45\,000\text{ km}$

$\lambda_0 = 0,8\ \mu\text{m}$  (infrarouge)

$\Rightarrow$  Angle de divergence  $\theta = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ$

$\Rightarrow$  diamètre de la tache d'Airy :  $2D \tan \theta = 350\text{ m}$

Le faisceau est atténué par la diffraction d'un facteur :

$$\left( \frac{350\text{ m}}{250\text{ mm}} \right)^2 \approx 2 \cdot 10^6$$

Comparons avec une liaison radiofréquence haut-débit (30 GHz) :

$$\lambda = c / f = 3 \cdot 10^8 / 30 \cdot 10^9 = 1 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \theta = 2,8^\circ$$

$$\Rightarrow \text{diamètre de la tache d'Airy : } 4400 \text{ km !}$$

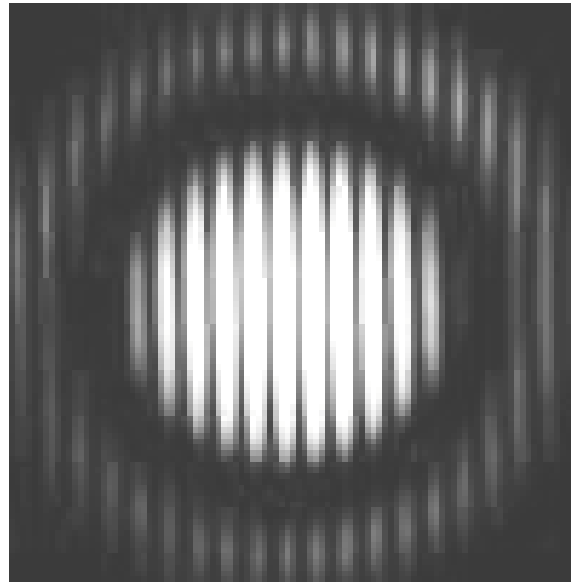
Le signal reçu est pratiquement nul.

- En résumé :

la divergence du faisceau diminue quand la fréquence de l'onde augmente ( $\lambda$  diminue).

## 2-6- Diffraction par deux trous (dispositif d'Young)

- Observation : fig. 15



- Explication : le phénomène de diffraction (fig. 13a) se superpose au phénomène d'interférence (fig. 10).



## 2-7- Diffraction par un bord d'écran

- fig. 16



## 2-8- Critère de Rayleigh

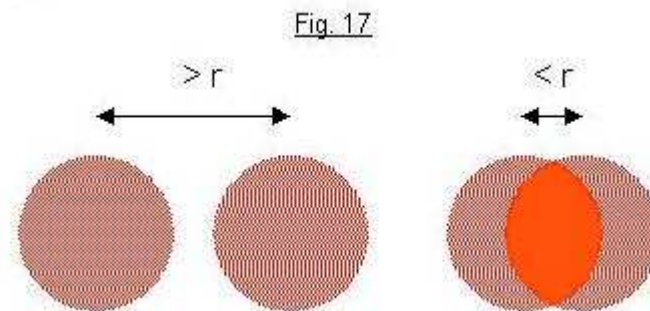
*A cause du phénomène de diffraction, un système optique ne donne jamais d'un point objet un point image mais une tache.*

Soit deux points objets  $A_1$  et  $A_2$ .

Soit  $A_1'$  et  $A_2'$  les deux taches images à travers le système optique.

- Critère de Rayleigh

“On peut distinguer deux images si la distance qui les sépare est supérieure au rayon de leurs taches de diffraction”.



- Conséquence importante

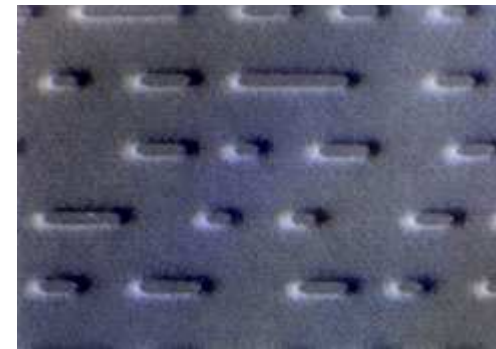
## La diffraction limite le pouvoir de résolution des appareils d'optique.

Exemple 1 : microscope en lumière blanche, projecteur de profil ...

On ne peut pas observer des détails  $< \lambda/2 \approx 0,3 \mu\text{m}$  (quel que soit le grossissement).

Résolution insuffisante pour observer les alvéoles d'un CD, les atomes ( $10^{-10} \text{ m}$ ) ...

C'est possible avec un microscope électronique (les électrons remplacent la lumière :  $\lambda_{\text{électrons}} \ll \lambda_{\text{lumière visible}}$  )



Exemple 2 : pouvoir de résolution d'un télescope

La résolution est limitée par la diffraction sur l'objectif.

On montre que la résolution angulaire (en lumière blanche) est :

$$\theta = 12'' / \text{diamètre de l'objectif (en cm)} \quad (\text{règle de Foucault})$$

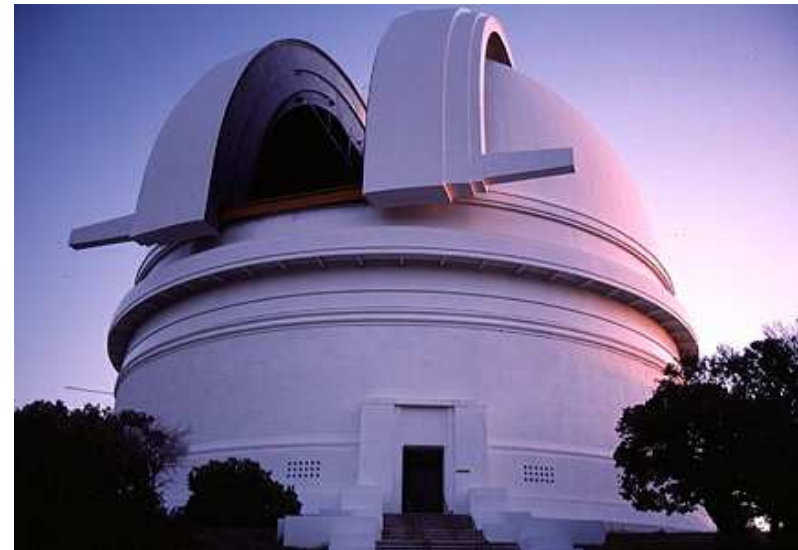
A.N. n°1

Diamètre du miroir : 5 m

$$\begin{aligned} \Rightarrow \theta &= 12'' / 500 = (12/3600) / 500 \\ &= 7 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ \end{aligned}$$

Distance Terre-Lune : 384 000 km

Résolution :  $384\,000 \tan \theta = 50$  mètres



## A.N. n°2 résolution de l'œil humain

Diamètre de l'iris : 4 mm

$$\Rightarrow \theta = 12'' / 0,4 = 30''$$

En pratique :  $\theta = 1'$

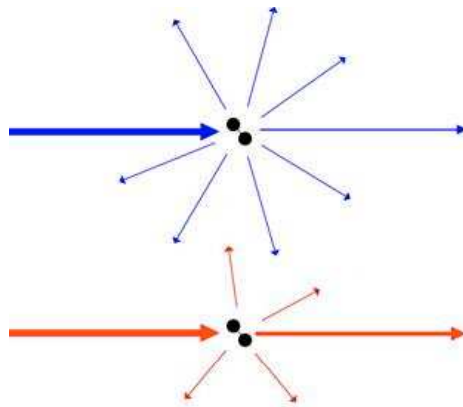
Résolution de 1 mm à une distance de 3 m.

(détail de 100 km sur la Lune).

## 2-9- Diffusion de la lumière

La diffusion est une conséquence du phénomène de diffraction.

Pour des particules de taille  $\ll \lambda$  :



Intensité de la lumière diffusée :

$$I \propto 1/\lambda^4 \quad (\text{loi de Rayleigh})$$

$\Rightarrow$  diffusion du violet  $\gg$  diffusion du rouge

## Conséquences :

- le ciel est bleu

(diffusion sélective de la lumière du soleil par les molécules de l'atmosphère)



- le soleil levant/couchant est rouge

- la fumée fine est bleue



fumée  
bleue



Impression: Sunrise, Claude Monet, 1873