

7-M- Diffraction

Intro : phénomène caractéristique des ondes qui intervient lorsqu'il y a un obstacle

Intro : phénomène caractéristique des ondes qui intervient lorsqu'il y a un obstacle

I. Diffraction des ondes mécaniques

1. Cuve à onde (qualitatif) (onde transversale)

2. Ultrason (qualitatif) (ondes longitudinale) (faire d'abord avec une plaque de métal sans le trou puis avec afin de montrer clairement le phénomène, penser à éloigner le récepteur afin de pouvoir faire l'approximation d'onde plane)

II. Diffraction des ondes électromagnétique

1) Diffraction par des fils calibrés (ou fente) : Courbe d'étalonnage (quantitatif) Laser qui éclaire un cheveu avec une webcam et on fait l'acquisition à la webcam. (discuter des incertitudes et regarder si l'utilisation de la webcam est justifiée)

Application : Mesure de l'épaisseur du cheveu

2) Diffraction par une ouverture circulaire :

III. Limite apporté par la diffraction : Critère de Rayleigh (Montage Thomas)

Qualitatif : Montage avec la lunette : (petite idée dans le cahier bleu)

Faire comme le **sexant p 135** avec une lentille. (tracer $e=f(1/\Delta)$)

Remarque :

- On peut changer l'écart entre les bi fentes et vérifier que la largeur e de la fente diffractante pour laquelle on est à la limite de résolution est inversement proportionnelle à a .

La relation qui lie a et e est donnée par : $e = \lambda \cdot D/a \cdot G(\text{lentille})$

- Pour présenter la manip, il est intéressant de se placer comme si on allait chercher un critère de résolution. On le vérifie, on montre qu'il est inversement proportionnel à a puis on énonce le critère de Rayleigh.

IV. Ou Applications. (qualitatif)

1. Filtrage spatiale

2. Expérience d'Abbe

Conclusion : Diffraction des rayon X en cristallographie , historique de la double hélice d'ADN

I. Diffraction à une fente

1. Cuve à onde (qualitatif)

Pour comprendre ce qu'est la diffraction, considérons par exemple une onde plane (onde ayant la même phase dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation) que l'on envoie sur un plan opaque perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde et percé d'un trou de forme quelconque (objet diffractant). L'expérience montre qu'à la sortie du trou, l'onde n'est plus plane et son énergie a été redistribuée dans des directions différentes de la direction initiale.

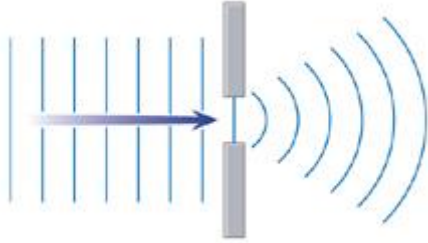


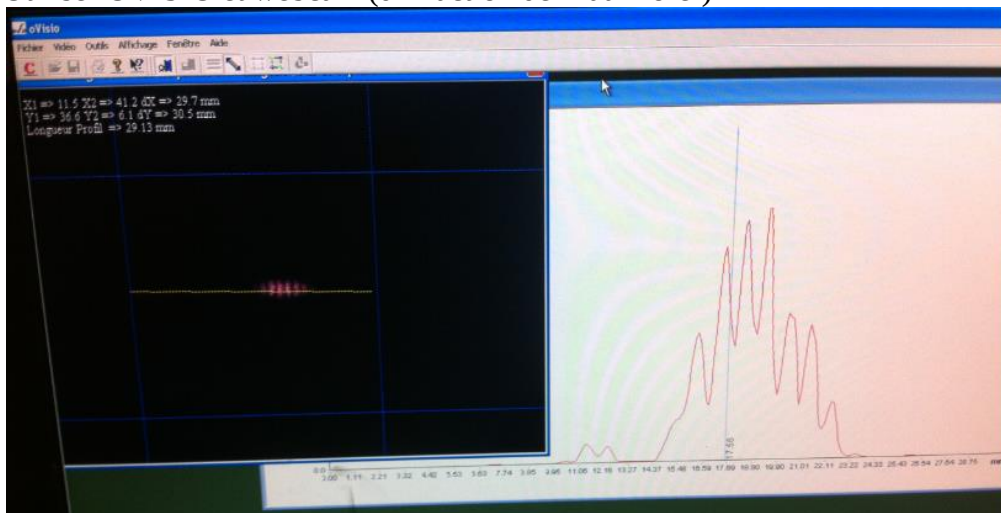
Schéma au tableau

Ce phénomène est appelé diffraction et nous verrons qu'il conduit à l'élargissement des faisceaux qui traversent des ouvertures fines (de l'ordre de grandeur équivalente à la longueur d'onde de l'onde), ou à l'apparition de frange assez similaire aux franges d'interférences.

2. Ultrason (qualitatif) (faire d'abord avec une plaque de métal sans le trou puis avec afin de montrer clairement le phénomène, penser à éloigner le récepteur afin de pouvoir faire l'approximation d'onde plane)

3. La lumière. (**quantitatif**) Laser qui éclaire un cheveu avec une webcam et on fait l'acquisition à la webcam. (discuter des incertitudes et regarder si l'utilisation de la webcam est justifier)
Mesure de l'épaisseur du cheveu.

Utiliser OVISO et webcam (diffraction de Fraunhofer)

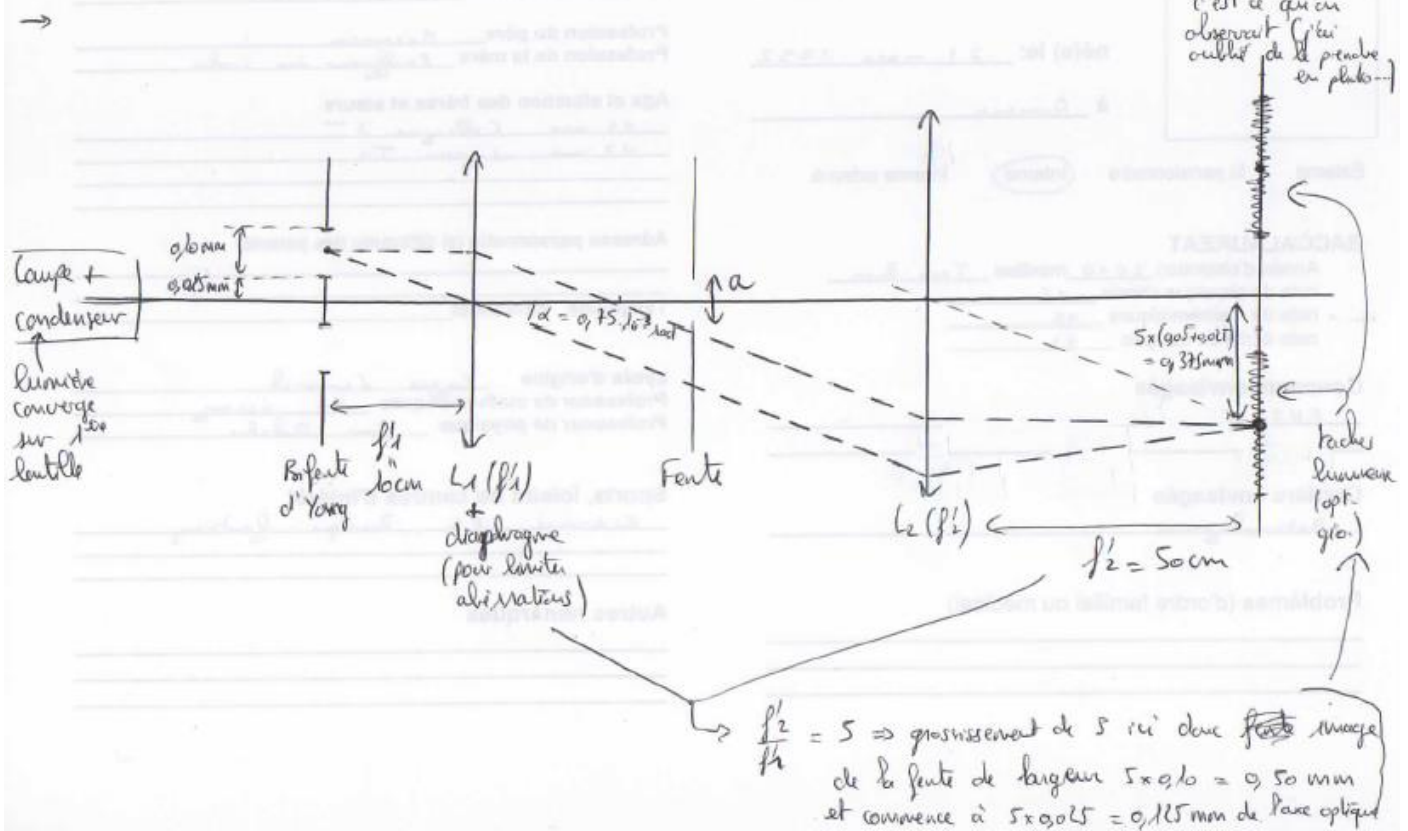


Manip de Thomas

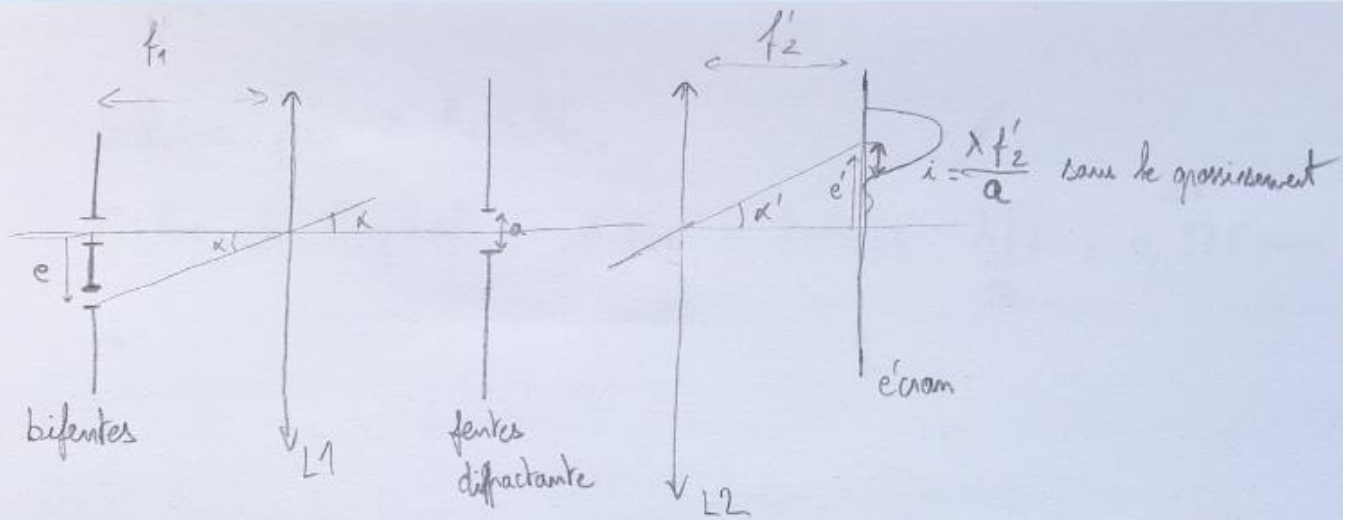
C'est un grandissement et non un grossissement, et les angles α et α' sont égaux

Schema pas à l'échelle.

Critère de Rayleigh : il faut a tel que $\frac{\lambda f_2'}{\alpha} = 0,375 \text{ mm}$ donc $a = \frac{\lambda f_2'}{0,375 \text{ mm}}$ de l'ordre de 1 mm



La distance entre les 2 lentilles n'a pas d'importance, ni entre les fentes



$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{e}{f_1} \approx \alpha \\ \tan \alpha' &= \frac{e'}{f_2} \approx \alpha' \\ \alpha &= \alpha' \end{aligned} \right\}$$

$$|\alpha| = \frac{e'}{e} = \frac{f_2}{f_1}$$

$$\Rightarrow e' = |\alpha| \cdot e$$

Critère de Rayleigh

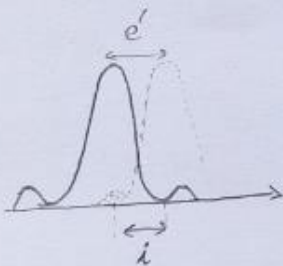
$$e' \geq i$$

à la limite $e' = i$

$$|\alpha| \cdot e = \frac{\lambda f_2}{a}$$

$$\Rightarrow e = \frac{\lambda f_2}{a |\alpha|}$$

Critère de Rayleigh



Idée de manip.

- Si bifente réglable et fente réglable.
on trace $e = f(\frac{1}{a})$ et on doit avoir une droite.
- Si seulement 3 bifentes non réglable on fait avec (mais il faut une fente réglable)

Introduction :

On appelle diffraction l'ensemble des phénomènes qui accompagnent la propagation d'une onde après interaction avec un système matériel dont la dimension typique est comparable à la longueur d'onde λ .

Il existe deux grands types d'ondes :

- Les ondes mécaniques : vibrations mécaniques, ondes sonores, vagues à la surface de l'eau, ondes sismiques etc. où se propage un état de tension, de vitesse et de pression...
- Les ondes électromagnétiques : lumière, ondes radio, infrarouge, ultraviolet, rayon X, rayon gamma, où se propage un état de champs électrique et magnétique...

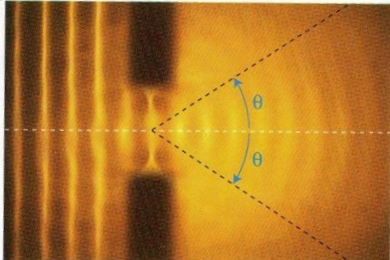
→ La diffraction s'exprime dans ces deux différents domaines.

D'un point de vue historique la diffraction a été découverte avec la lumière en 1665 par Grimaldi (diffraction= « mettre en pièces »). Elle fut interprétée correctement comme un comportement ondulatoire par Huygens (notion de sources secondaires), puis étudiée par Fresnel et Fraunhofer suite aux expériences de Young (trous d'Young).

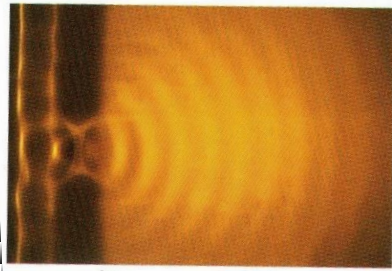
Pour des raisons historiques, on distingue encore la diffraction des interférences alors qu'il n'y a pas lieu de le faire : ces deux comportements dérivent de la nature ondulatoire d'un phénomène et ne vont pas l'un sans l'autre. La réciproque n'est pas vraie, il y a interférences sans diffraction dans le cas des interférences par division d'amplitude : coin d'air, anneaux de Newton, Perot-Fabry...

I/ Diffraction des ondes mécaniques à la surface de l'eau. (duffait p 296 + TS Bordas, Belin)

Le phénomène de diffraction dépend des dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle diffractant. Si on note a la largeur de l'ouverture ou de l'obstacle, le phénomène de diffraction dépend de la valeur de $\frac{\lambda}{a}$ où λ est la longueur d'onde de l'onde progressive sinusoïdale.

$\text{Si } \frac{\lambda}{a} \ll 1 \text{ donc si } a \gg \lambda$	 Doc. 19. Si $a \gg \lambda$, le phénomène de diffraction est imperceptible.	Une onde rectiligne arrivant sur l'ouverture est très peu affectée par celle-ci. Effets de bord : diffraction mais très peu visible
$\text{Si } \frac{\lambda}{a} \approx 1$ (ordre de grandeur)	 Doc. 20. Si $\frac{\lambda}{a}$ est voisin de 1, l'onde se répartit au-delà de l'ouverture ou de l'obstacle de manière différente suivant la direction. L'amplitude de l'onde diffractée est nulle le long d'une droite faisant l'angle θ avec la normale à l'ouverture, où θ vérifie $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$.	On observe une onde diffractée contenue dans un triangle dont le sommet est le centre de l'ouverture. A l'extérieur de ce triangle se trouve une zone où il n'y a pas de perturbation : l'amplitude de l'onde y est nulle. Au-delà, on entrevoit une onde diffractée d'amplitude plus faible. On constate que le long de la droite faisant avec la normale à l'ouverture un angle θ tel que $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$, l'amplitude de l'onde est nulle. Tout se passe comme si chaque point devenait une source ponctuelle.

Si $\frac{\lambda}{a} > 1$, c'est-à-dire si
 $a < \lambda$

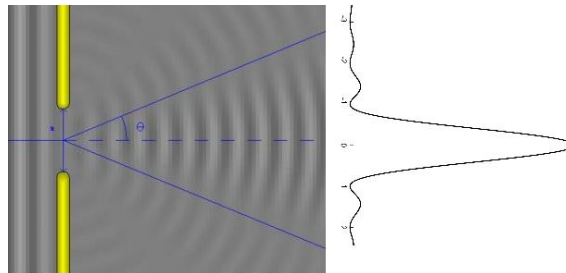


Doc. 21. Si $\frac{\lambda}{a} > 1$, l'onde diffractée est circulaire.

L'onde diffractée est quasiment circulaire dans un milieu à deux dimensions.

On a ici mis en évidence la diffraction dans le domaine de la mécanique.

Rq :

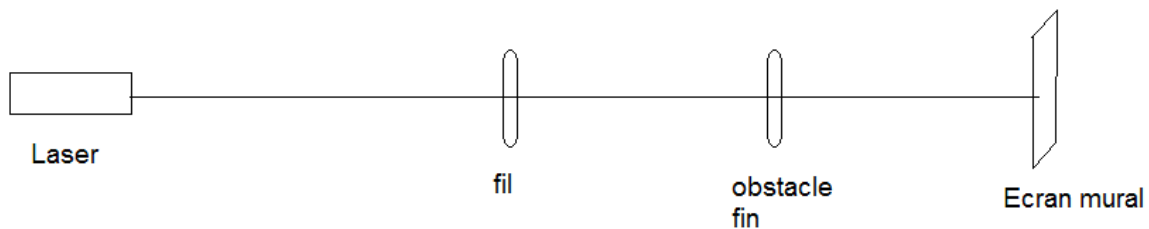


Rq : Possible de déduire des expériences les conditions de diffraction et pas les énoncer avant l'expérience. →+ exploiter l'expérience.

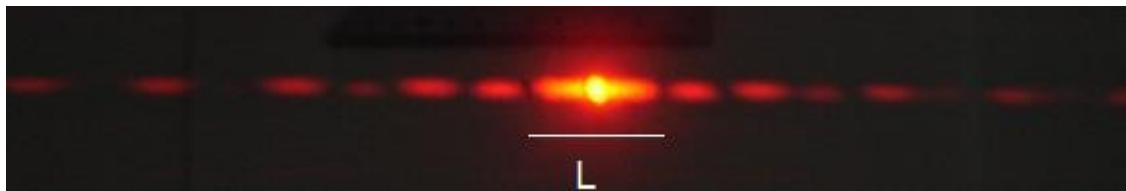
II/ Diffraction des ondes lumineuses. Applications.

1) Diffraction par un fil.

a) Mise en évidence expérimentale



D=distance (fil-écran) =1m
 $\lambda =$ nm



Rq : Ou avec fentes étalonnées pour mettre en évidence le théorème de Babinet : « Deux objets complémentaires donnent la même figure de diffraction sauf au centre. »

Rq : Bien montrer que la largeur de la tâche centrale est double de celle des maxima secondaires.

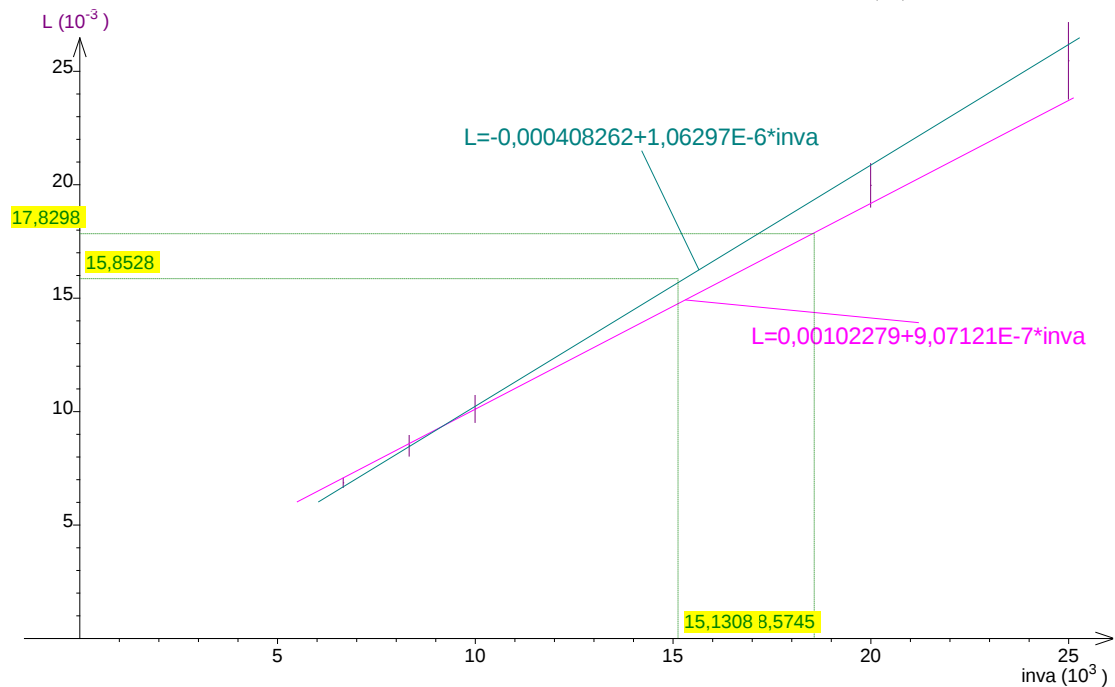
b) Tracé et analyse de la fonction $L = \frac{2\lambda D}{a}$

On peut remarquer que plus le fil est fin, plus la figure est large.

On mesure sur Caliens la largeur L de la tâche centrale par la méthode des min et max.

La demi-largeur angulaire de la tâche centrale est telle que $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$. Ici, $\sin \theta \approx \theta$, on trouve que la largeur L vaut : $L = \frac{2\lambda D}{a}$.

On fait la mesure de L avec des fils de différents diamètres et on trace $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$.



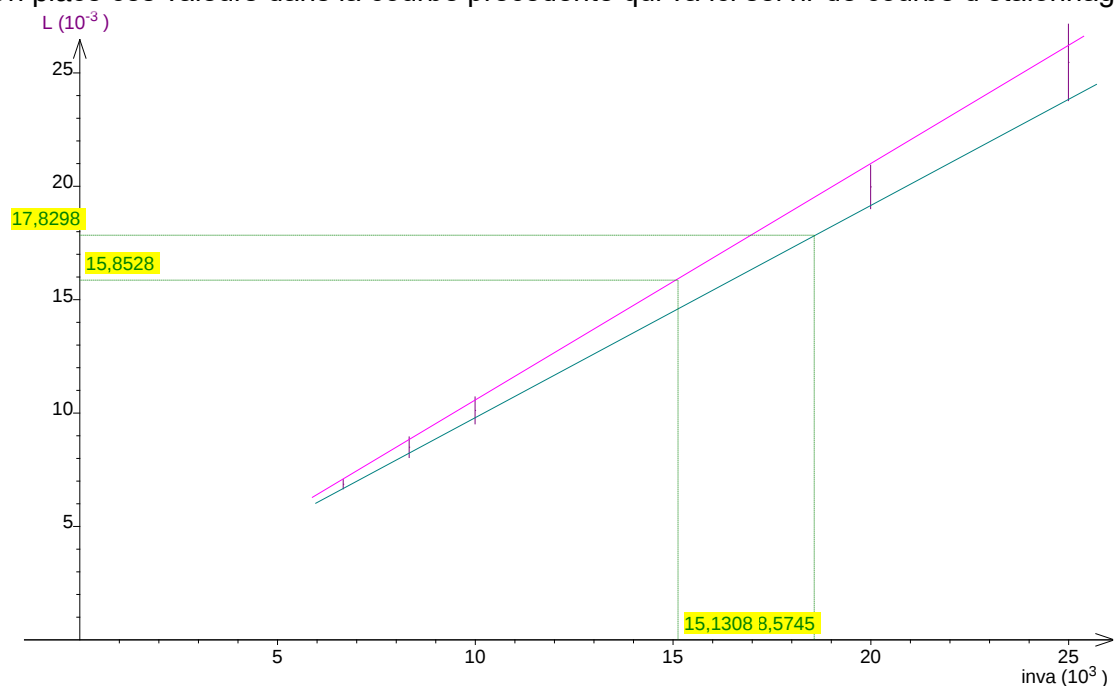
Expérimentalement : $p_{\text{exp}} = (1,00 \pm 0,07) \cdot 10^{-6} m^2$

Théoriquement : $p_{\text{th}} = 2\lambda D = 2 * 532 \cdot 10^{-9} * 1 = (1,06 \pm 0,01) \cdot 10^{-6} m^2$

→ Les résultats théoriques et expérimentaux sont en accord, on a bien vérifié la loi.

c) Application : détermination du diamètre d'un cheveu.

On remplace le fil par un cheveu. On peut déterminer comme précédemment la largeur L de la tâche centrale. On place ces valeurs dans la courbe précédente qui va ici servir de courbe d'étalonnage.

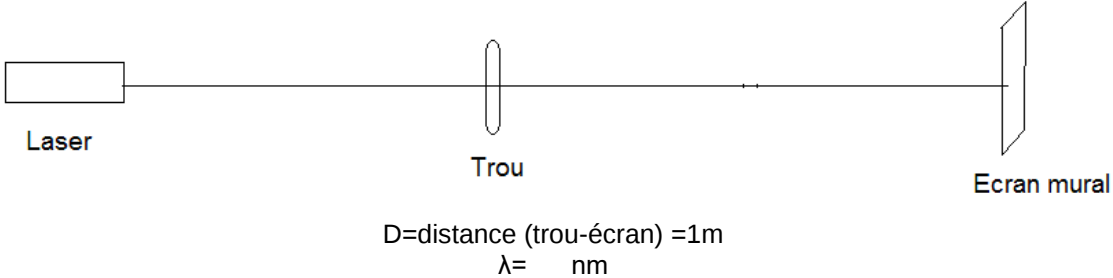
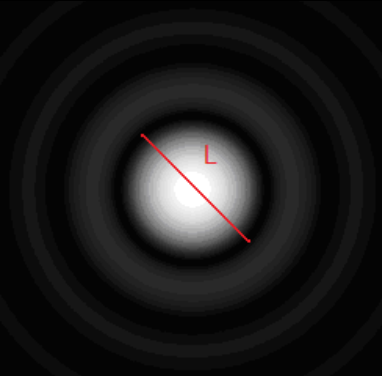


Grâce à une intrapolation linéaire, on trouve $\left(\frac{1}{a}\right)_{\text{moy}} = (16850 \pm 1720) \text{m}^{-1}$. On en déduit alors :

$$a = (59 \pm 6) \mu\text{m}$$

2) Diffraction par une ouverture circulaire (duffait p 225)

a) Mise en évidence expérimentale.

 D=distance (trou-écran) =1m $\lambda =$ nm		
		$L = \frac{2\lambda D * 1,22 * \lambda}{a}$ D= distance trou-écran L=diamètre du premier anneau noir

b) Application à la détermination du diamètre a d'un grain de poudre de Lycopode.

On remplace le trou par de la poudre de Lycopode. Ce sont les spores d'une mousse qui ont la particularité d'avoir une dimension bien déterminée et une forme à peu près circulaire. On réalise donc la diffraction par un grand nombre d'objets identiques en répandant sur une lame de microscope un peu de poudre de lycopode (prendre soin de souffler sur la lame avant de mettre la poudre pour que la buée fasse adhérer la poudre, éliminer l'excès de poudre).

On utilise le fait que N objets identiques fournissent une image semblable à un seul objet. L'éclairement est N fois l'éclairement diffractés par un seul objet (sauf au centre).

Détermination directe : $D = 1,00 \pm 0,01 \text{ m}$ et $L = 4,2 \pm 0,4 \text{ cm}$

$$\text{D'où } a = \frac{2D * 1,22 * \lambda}{L} = (31 \pm 3) \mu\text{m}$$

Au microscope : $a_{\text{microscope}} \approx 30 \mu\text{m}$

Principe des halôts lunaires.

Conclusion :

- Diffraction des ondes sonores : on entend le son émis par une source masquée.
- Tout phénomène physique pour lequel on observerait un phénomène de diffraction peut être considéré comme ondulatoire.
- TS + diamètre d'un cheveu (2^{nde})
- Analyse de structure cristalline (cf annexe).

On utilise les propriétés de diffraction des cristaux en physique, chimie, biologie, biochimie, médecine et en sciences de la terre. Leur analyse donne des informations sur des substances cristallines organiques et inorganiques (distance entre atomes, agencement spatial des atomes, identification de phases cristallines, taille des cristallites).

- réseau

Annexe :

- Ondes sonores :

Dans l'air, à la température ordinaire, la célérité des ondes sonores est voisine de 340 m/s. les fréquences de la majorité des sons produits est comprise entre 100 et 8000 Hz et ont des longueurs d'onde comprises respectivement entre 3,4m et 4 cm environ.

Les sons graves, de basse fréquence sont donc fortement diffractés par les portes et les fenêtres ouvertes. En particulier, leur propagation à l'intérieur d'un appartement est meilleure que celle des sons aigus qui sont peu diffractés dans ces conditions et absorbés lors de la réflexion sur les cloisons.

Le phénomène de diffraction explique que l'on entende le son émis par une source masquée.

- Détermination de structure cristalline :

Le diffractomètre est donc un outils qui permet l'analyse physico chimique de matériaux. Ne fonctionne que sur les matériaux cristallins (pas les pates amorphes type verre, liquide ...). L'analyse se passe un peu comme avec les lycopodes, on met une poudre sur une plaque qu'on fait traverser par des rayons X. Puis un détecteur qui fait le tour de l'échantillon et qui en fonction de l'endroit où il est mesure l'intensité du rayon X.

Méthode utilisée dans la recherche pour identifier de nouveaux matériaux, contrôle de qualité (genre dans la construction ... ciment etc), en pharmacie pour caractériser les nouvelles molécules etc.

Basé sur le principe que le rayon X (comme toute les Ondes EM) au contact de l'atome va perturber le nuage électronique et en fonction de l'atome donc un rayon va être réémis d'une certaine façon... il va y avoir phénomène de diffusion (diffusion de Rayleigh). Ces rayons réémis vont interférer entre eux donc, dépendamment de l'atome qu'il ont rencontrés etc ... c'est ce qui va permettre leur caractérisation.

Ou :

Max von Laue eut l'idée d'irradier les cristaux avec des rayons X, car il pensait que le réseau cristallin ferait dévier le rayonnement de la même façon que la lumière est déviée dans certains minéraux transparents. L'expérience que des collègues réalisèrent sur un cristal de sulfate de cuivre lui permit de faire la démonstration de la structure périodique des empilements d'atomes dans les cristaux et de la nature ondulatoire du rayonnement X. La détermination structurale s'effectue le plus souvent en mesurant la diffraction du rayonnement électromagnétique des rayons X, dont les longueurs d'onde sont de l'ordre des distances qui séparent les plans atomiques de la structure cristalline. Lorsque le cristal à étudier est irradié par un fin faisceau de rayons X, chacun des atomes du cristal diffuse une onde de faible amplitude, qui se propage dans toutes les directions. Les ondes issues des atomes interfèrent et donnent lieu à la diffraction, faisant apparaître sur le détecteur qui les reçoit des taches qui correspondent au maximum des ondes en phase ; les autres, en opposition de phase, se sont annulées.

- Poudre de Lycopode : Si les spores étaient ordonnées → sources cohérentes → réseau et il y aurait interférences.

Ici, désordonnées, le facteur d'interférence s'annule, la moyenne lumineuse vaut 0.

- Babinet :

La tâche centrale plus lumineuse représente la partie non diffractée (image directe du laser)

- Diffraction de Fraunhofer :

Onde plane qui arrive sur une ouverture et on se place à l'infini. Ok si $a^2 \ll \lambda D$.