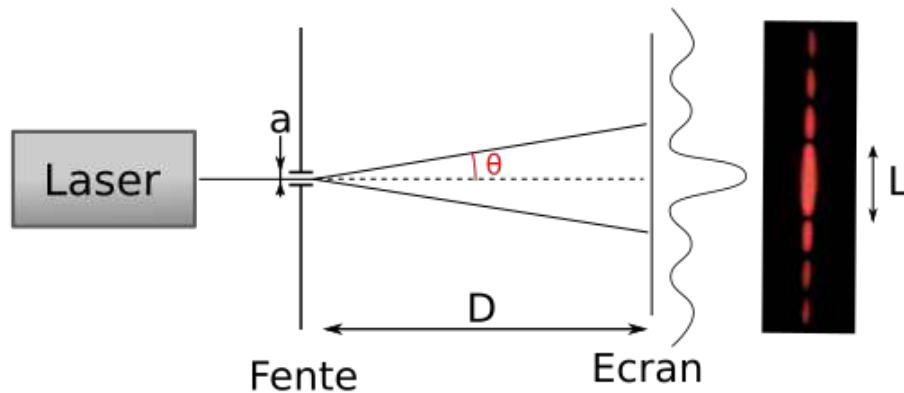


EXERCICES CHAPITRE : ONDES LUMINEUSES

Exercice 1. Caractère ondulatoire de la lumière

On réalise une expérience en utilisant un laser, une fente de largeur réglable et un écran blanc. Le dispositif est représenté ci-dessous :



Les mesures de la largeur de la fente a , de la distance de la fente à l'écran D et de la largeur de la zone lumineuse centrale L conduisent aux résultats suivants : $a=(0,200 \pm 0,005) \text{ mm}$; $D=(2,00 \pm 0,01) \text{ m}$;

$$L=(12,6 \pm 0,1) \text{ mm}$$

Q1. Quel est le nom du phénomène observé ?

Q2. Quand ce phénomène se produit-il ? justifier votre réponse en partant de la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$

Q3. L'angle θ étant très petit et exprimé en radian, on peut utiliser l'approximation $\tan \theta = \theta$. Démontrer la relation $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$

Q4. Calculer la longueur d'onde λ .

Q5. On utilise la méthode de Monté Carlo afin de trouver la valeur théorique de la longueur d'onde $\lambda_{\text{théo}}$ ainsi que l'incertitude associée $U(\lambda)$. Le programme python suivant :

```

1 import numpy as np
2
3 def Aleatoire(L): # fonction calculant une valeur au hasard une valeur
4     tirage = np.random.normal() # tirage entre -infini et +infini (loi normale)
5     return L[0] + L[1]*tirage
6
7 # Saisie des valeurs avec leur incertitude-type sous la forme grandeur= [valeur, incertitude]
8 D = [0,0] # Distance fente écran en mètre
9 a = [0,0] # Taille del'obstacle en mètre
10 L = [0,0] # taille de la tache de diffraction en mètre
11
12 LongueurDOnde= []
13 iteration = 100000 # 100 000 valeurs aléatoires générées
14
15 for i in range(iteration):
16     Aleatoire_LongueurDOnde = (Aleatoire(L)*Aleatoire(a))/(2*Aleatoire(D))
17     LongueurDOnde.append(Aleatoire_LongueurDOnde)
18
19 Moy_LongueurDOnde = sum(LongueurDOnde)/iteration # longueur d'onde du laser
20 U_LongueurDOnde = (1/(iteration -1)*sum((np.array(LongueurDOnde) - Moy_LongueurDOnde)**2))**0.5
21 # calcul de l'incertitude de la longueur d'onde du laser.
22
23 print("La Longueur d'onde du laser est :", round(Moy_LongueurDOnde*1e9,5), "nm")
24 print("Incertitude de la longueur d'onde du laser U(LongueurDOnde)=", round(U_LongueurDOnde*1e9,5) , "nm")

```

Q6. Exécuté, il donne le résultat suivant :

```

>>> %Run Longueur_onda_laser_diff.py
La Longueur d'onde du laser est : 630.07819 nm
Incertitude de la longueur d'onde du laser U(LongueurDOnde)= 16.79072 nm

```

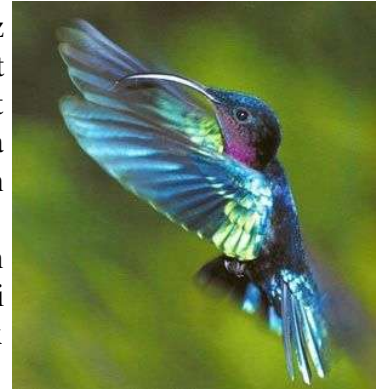
Q7. Compléter les lignes 8,9,10, afin de faire fonctionner le programme correctement.

Q8. Expliquer brièvement la méthode de Monté Carlo.

Q9. En partant des résultats du programme python, indiquer si la mesure expérimentale est correcte.

Exercice 2. Couleurs interférentielles des colibris

Les couleurs des animaux sont pour la plupart dues à des pigments. Mais, chez certains insectes et certains oiseaux, la production de couleurs provient d'interférences lumineuses. C'est le cas du plumage des colibris. Leurs plumes sont constituées d'un empilement de petites lames transparentes qui réfléchissent la lumière. Pour comprendre le phénomène, une lame de plume sera modélisée par un parallélépipède transparent d'épaisseur e , d'indice de réfraction n , placé dans l'air. Lorsque la lumière arrive à la surface de la lame à faces parallèles, il se produit un phénomène de réfraction (point I). Ce phénomène physique produit un rayon réfléchi et un rayon réfracté, ainsi qu'un angle incident i et réfracté r . Le rayon entre les deux lames suit alors le parcours décrit et forme un second rayon réfléchi en K.



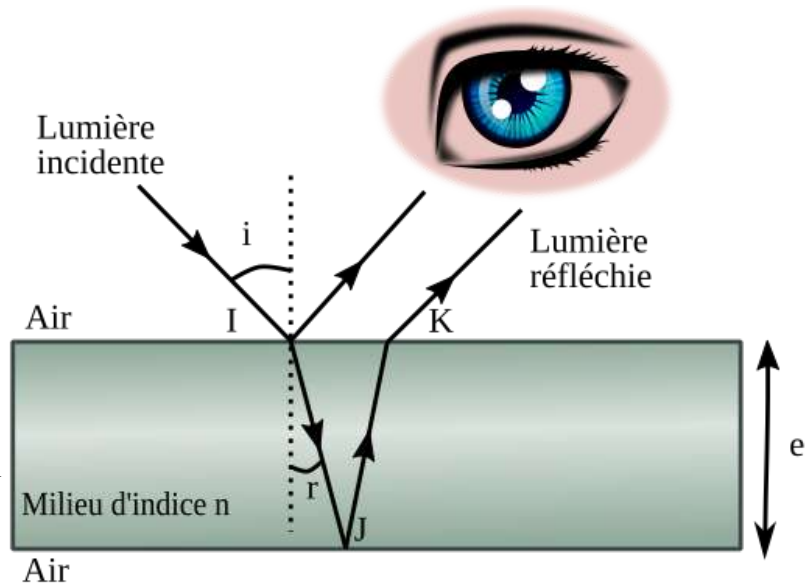
Le schéma ci-dessous représente cette lame en coupe.

Les deux rayons réfléchis par la lame à faces parallèles se superposent sur la rétine de l'observateur et y interfèrent. Pour un angle de réfraction r donné, la différence de marche notée δ des rayons dépend de l'épaisseur e de la lame et de son indice de réfraction n . Elle est donnée par :

$$\delta = 2 \cdot n \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda}{2}$$

Cet indice n dépend de la longueur d'onde de la radiation.

Parmi toutes les radiations de la lumière solaire, on s'intéresse à celles de longueur d'onde $\lambda_R = 750 \text{ nm}$ (rouge) et $\lambda_V = 380 \text{ nm}$ (violet). On prendra $e = 0,15 \mu\text{m}$



Q1. Quelle condition doit vérifier la différence de

marche pour que les interférences soient constructives ? destructives ?

Q2. Pour un angle de réfraction $r = 20^\circ$, vérifier par le calcul que les interférences des deux rayons sont constructives pour le rouge ($n_R = 1,33$) et destructives pour le violet ($n_V = 1,34$).

Q3. Supposons que les interférences des rayons lumineux violet soient constructifs, pour quel angle de réfraction r observe-t-on une coloration violette ?

Q4. La couleur observée dépend-elle de l'angle d'incidence i ? Justifier la réponse. Proposer alors une explication des couleurs observées sur le colibri.

Exercice 3. QUELLE TAILLE POUR LES MAILLES D'UN TAMIS ? (5 points)

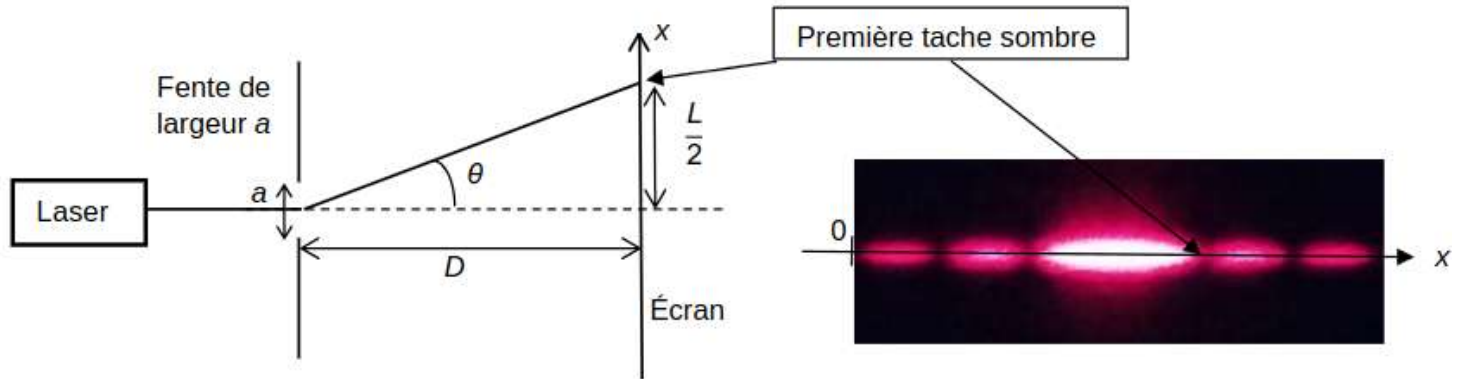
Les artémies (voir photo ci-contre) sont des crustacés élevés pour nourrir les poissons des aquariums. Leur taille doit être adaptée à l'espèce de poisson à nourrir. On utilise des tamis calibrés pour les sélectionner.



On se propose dans cet exercice de déterminer la taille des mailles d'un tamis en utilisant une diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10)$ nm.

Partie 1. Vérification de la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde de la diode laser annoncée par le constructeur, on réalise une expérience dont le schéma est donné ci-dessous (figure 1).



Distance fente – écran : $D = 56$ cm
Largeur de la fente calibrée : $a = 80$ μ m

Figure 2. Figure observée sur l'écran

Figure 1. Schéma de l'expérience (échelle non respectée)

1.1 Nommer le phénomène physique responsable des taches lumineuses observées sur l'écran. Discuter qualitativement de l'influence de la largeur de la fente et de la longueur d'onde de l'onde incidente sur le phénomène observé.

1.2 On rappelle que l'angle θ est donné

par la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et on considère que $\tan \theta \approx \theta$ pour les petits angles ($\theta \ll 1$ rad).

Déterminer l'expression de l'angle θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de D . En déduire l'expression de la longueur d'onde λ en fonction de L , a et D .

Pour faire une mesure précise, on remplace l'écran par une caméra qui permet d'obtenir l'intensité lumineuse relative* en fonction de la position x , repérée selon l'axe indiqué sur la photo de la figure 2.

L'origine $x = 0$ m est prise sur le bord du capteur de la caméra. On obtient alors la figure 3.

* L'intensité lumineuse relative est le rapport de l'intensité lumineuse reçue par le capteur sur l'intensité maximale reçue.

1.3 Déterminer la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée en exploitant la courbe obtenue sur la figure 3. La comparer à la valeur indiquée par le constructeur.

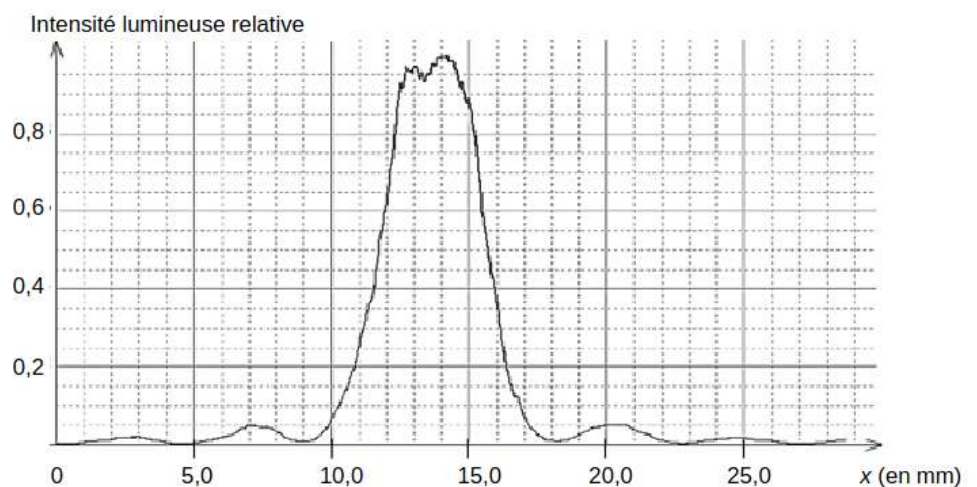


Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

Partie 2 . Calibrage du tamis de récupération

Le but de cette partie est de vérifier que le tamis disponible, dont le maillage est représenté sur la figure 5, permet de récupérer toutes les artémies d'une taille supérieure à 150 μm . On réalise une expérience d'interférences pour évaluer les dimensions du tamis en utilisant la diode laser précédente. La largeur du fil plastique constituant le tamis est égale à 230 μm .

L'expérience d'interférences est décrite ci-dessous :

- le montage utilisé est donné sur la figure 4 ;
- on utilise la diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10)$ nm. La distance entre le tamis et l'écran vaut $D = (7,75 \pm 0,03)$ m ;
- on note b la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage du tamis ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur les figures 6 et 7.

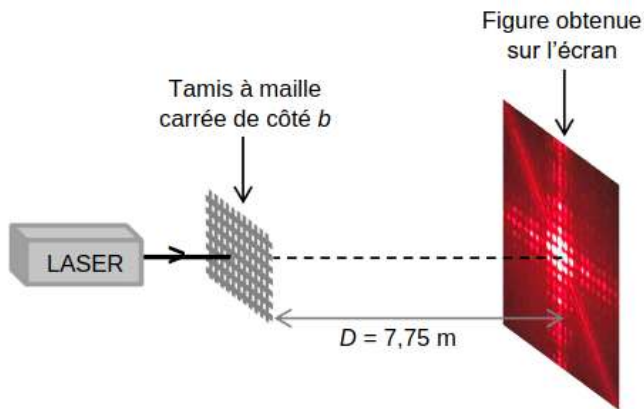


Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)

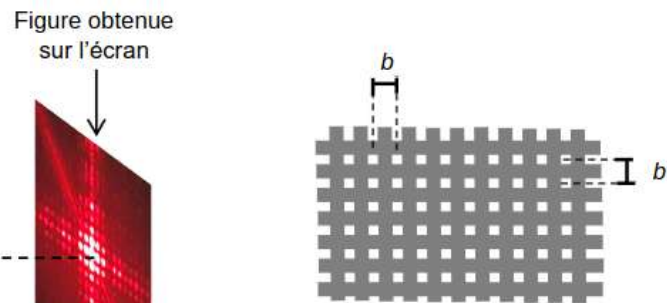


Figure 5. Schéma du maillage du tamis

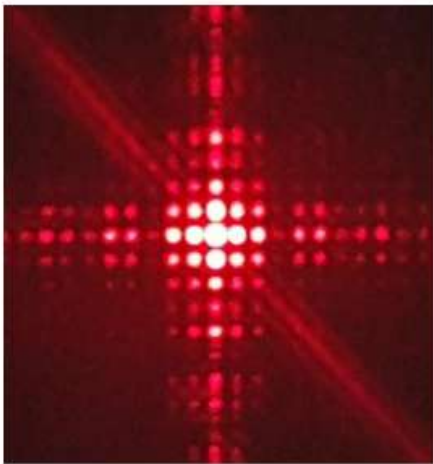


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

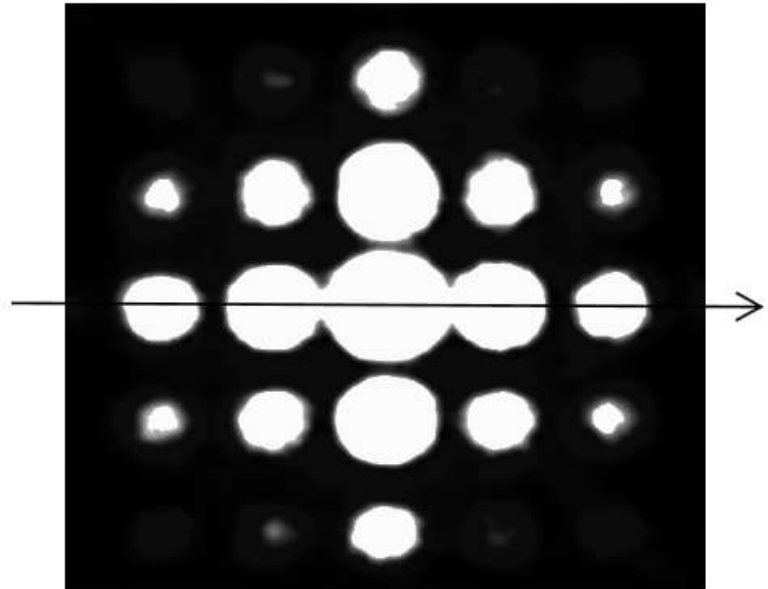


Figure 7. Tache centrale de la figure d'interférences à l'échelle 1/1

2.1 Expliquer brièvement, sans calcul, l'origine de la présence de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses.

Le centre de la figure d'interférences de la figure 6 est représenté sur la figure 7 ci-dessus à l'échelle 1/1.

L'interfrange, noté i , est défini comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe identifié sur la figure 7.

L'expression de l'interfrange est donnée par la relation : $i = \frac{\lambda \times D}{b}$.

L'incertitude-type $u(b)$ sur la grandeur b peut se calculer à partir de la relation :

$$\frac{U(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où $u(x)$ désigne l'incertitude-type associée à la grandeur x

2.2 Évaluer la valeur de l'interfrange i en explicitant la méthode suivie pour obtenir la meilleure précision. Évaluer l'incertitude-type $u(i)$ sur la mesure de l'interfrange i .

2.3 Calculer b puis évaluer $u(b)$.

2.4 Indiquer si le tamis étudié permet de récupérer les artémies voulues. Justifier.

Exercice 4. EXERCICE ONDES ET PARTICULES

Si l'on parvient à établir la correspondance entre ondes et corpuscules pour la matière, peut-être sera-t-elle identique à celle qu'on doit admettre entre ondes et corpuscules pour la lumière ? Alors on aura atteint un très beau résultat : une doctrine générale qui établira la même corrélation entre ondes et corpuscules, aussi bien dans le domaine de la lumière que dans celui de la matière.

Données numériques :

Masse d'un électron : $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg

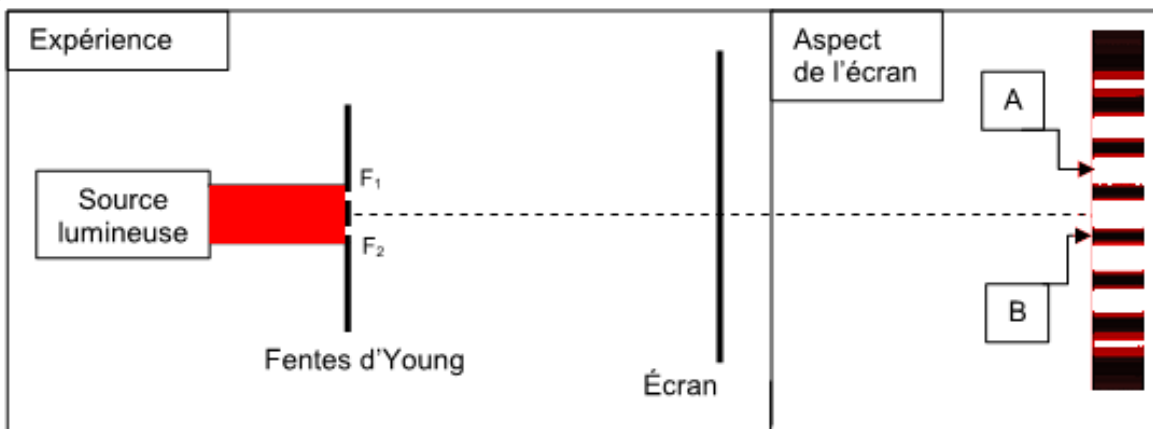
Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C

Constante de Planck : $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s

Vitesse de propagation de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8$ m.s⁻¹

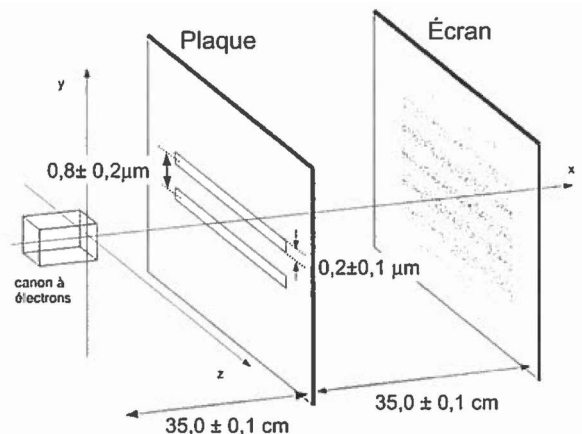
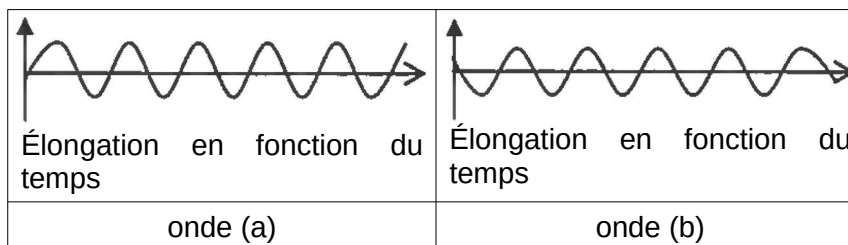
Partie A : Expérience des fentes d'Young

Au début du XIX^e siècle, Thomas Young éclaire deux fentes F_1 , F_2 fines et parallèles (appelés fentes d'Young) à l'aide d'une source lumineuse monochromatique. On observe sur un écran des franges brillantes et des franges sombres. L'aspect de l'écran est représenté ci-dessous.



1. Qualifier les interférences en A et en B.

2. Ci-dessous sont représentées les évolutions temporelles de l'élongation de trois ondes (a), (b) et (c). Choisir en justifiant, les deux ondes qui interfèrent en A et les deux ondes qui interfèrent en B permettant de rendre compte du phénomène observé.



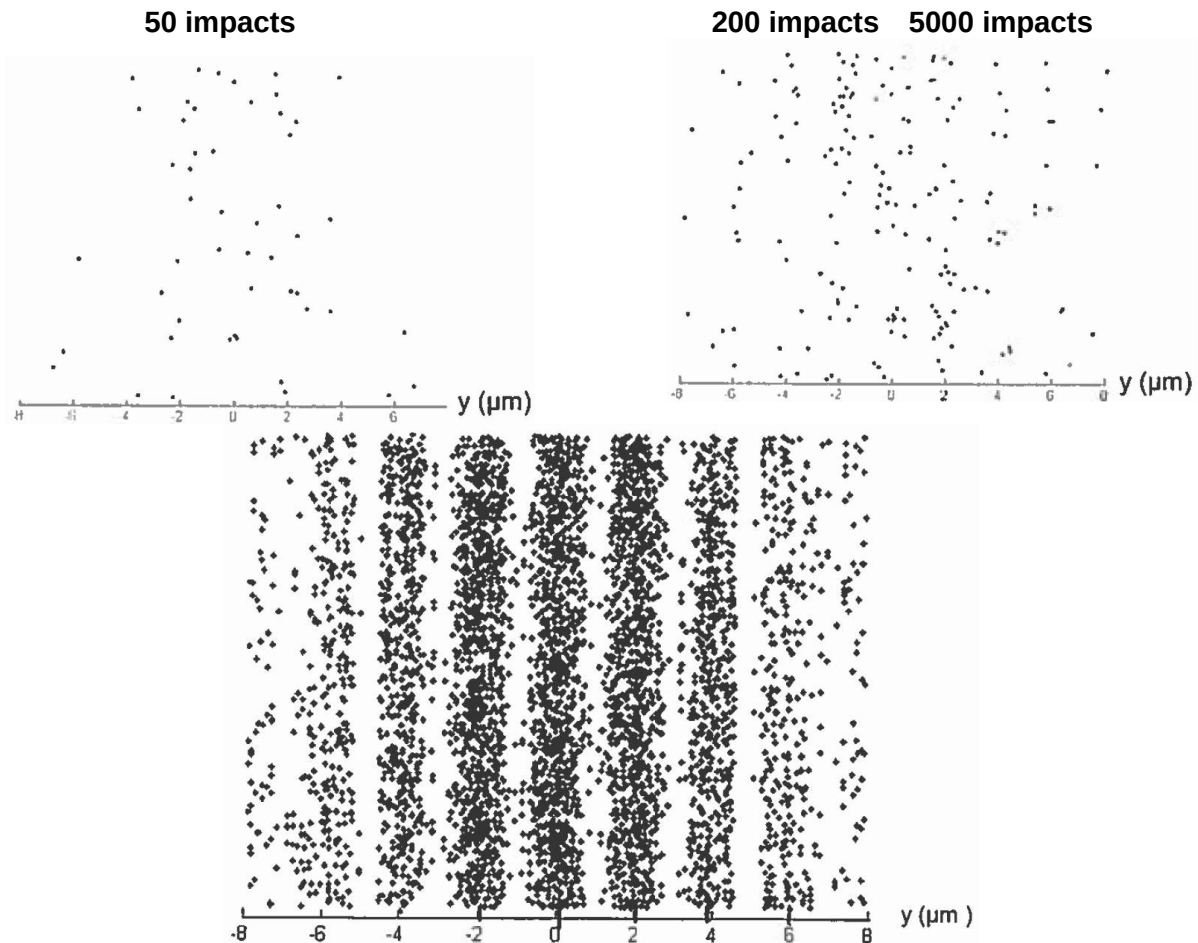
Partie B : Particule de matière et onde de matière

Expérience des fentes d'Young

En 1961, Claus Jönsson reproduit l'expérience des fentes d'Young en remplaçant la source lumineuse par un canon à électrons émettant des électrons, de mêmes caractéristiques, un à un. L'impact des électrons sur l'écran est détecté après leur passage à travers la plaque percée de deux fentes.

Document 1 : Expérience des fentes d'Young

Document 2 : Impacts des électrons sur l'écran



1. Passage à travers la plaque percée de deux fentes

Données :

L'interfrange est donnée par la relation : $i = \frac{\lambda D}{b}$ où i est l'interfrange, λ la longueur d'onde de l'onde associée à un électron, D la distance entre la plaque et l'écran et b la distance séparant les deux fentes. Toutes ces grandeurs s'expriment en mètres.

L'incertitude sur la mesure de la longueur d'onde est évaluée par :

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta i}{i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2}$$

Incertaince sur la mesure de l'interfrange : $\Delta i = 0,2 \mu\text{m}$

Vitesse des électrons : $v = 1,3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

1.1. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron en partant de

la relation de De Broglie suivante : $\lambda = \frac{h}{m_e \cdot v}$

On admettra que cette valeur est connue avec une incertitude égale à $5 \times 10^{-13} \text{ m}$.

1.2. En partant du document2 et de vos connaissances sur l'interférence, retrouver un autre moyen d'obtenir le résultat précédent. On attendra un calcul d'incertitude afin détailler votre réponse.

2. Passage à travers une seule fente de la plaque

L'une des deux fentes de la plaque est dorénavant bouchée ; l'autre de largeur $a = 0,2 \mu\text{m}$ est centrée sur l'axe Ox du canon à électrons.

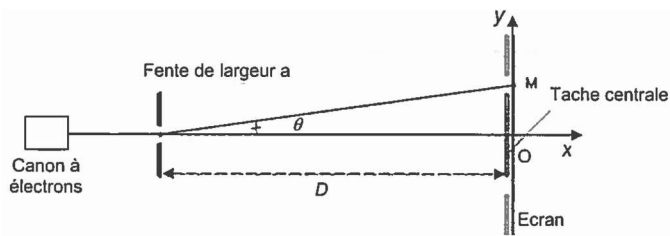
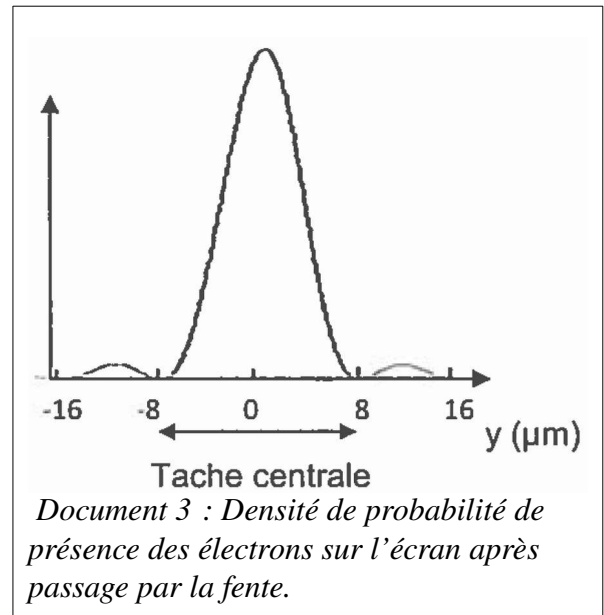


Schéma de l'expérience (vue de coupe)



2.1. Quel est le phénomène physique observé ?

2.2. À partir du document 3 ci-dessous, déterminer la valeur de l'angle θ , sachant que la distance séparant la fente de l'écran est $D = 35,0 \text{ cm}$. Pour les petits angles, on rappelle que $\tan \theta \approx \theta$.

2.3. À partir de la valeur de cet angle, retrouver l'ordre de grandeur de la valeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron.

CORRECTION

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

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

$$\lambda = \frac{0,2 \times 10^{-3} \times 12,6 \times 10^{-3}}{2 \times 2} = 6,30 \times 10^{-7} \text{ m} = 630 \text{ nm}$$

Daisy cri **matin midi** et la **nuit plein**

$$\frac{U(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2}$$

$$\frac{U(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{0,01}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,1 \times 10^{-3}}{12,6 \times 10^{-3}}\right)^2} = 0,051$$

$$\frac{U(\lambda)}{\lambda} = 0,051 \rightarrow U(\lambda) = \lambda \times 0,051 = 630 \times 0,05132 \text{ nm}$$

$$\delta = 2.n.e.\cos r + \frac{\lambda}{2}$$