

**Compétences visées:**

- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.
- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.
- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.
- Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.

Exercices :

1. Mesure de petites grandeurs
2. Un brin en matière synthétique - *Bac Métropole 1 2025*
3. Taille d'un masque respiratoire - *Bac métropole 2 2022*

Table des matières

I Diffraction	3
A Généralités	3
A-1 Définition	3
A-2 Condition de diffraction	3
A-3 Situation naturelle	4
B Angle de diffraction	4
II Interférences de deux ondes	9
A Interférences constructives et destructives	9
A-1 Différence de marche δ	9
A-2 Différence temporelle et Conditions d'interférences	10
B Interfranges	11

I Diffraction

A Généralités

A-1 Définition

Définition : La diffraction

Lorsqu'une onde rencontre un objet de petite dimension (fente ou objet), sa direction de propagation est modifiée : c'est le phénomène de diffraction.

Remarque

L'onde conserve sa fréquence, sa vitesse et sa longueur d'onde.

A-2 Condition de diffraction

Propriété : Conditions de diffractions

La diffraction n'est observée lorsque la taille de l'ouverture est du même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde $a \leq 10.\lambda$

Onde plane incidente

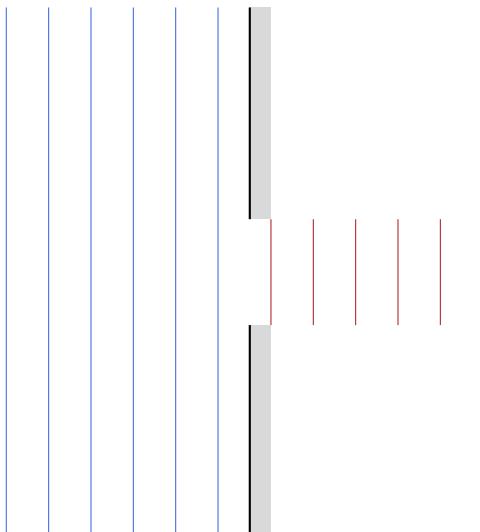


FIGURE 1 – Fente large

Onde plane incidente

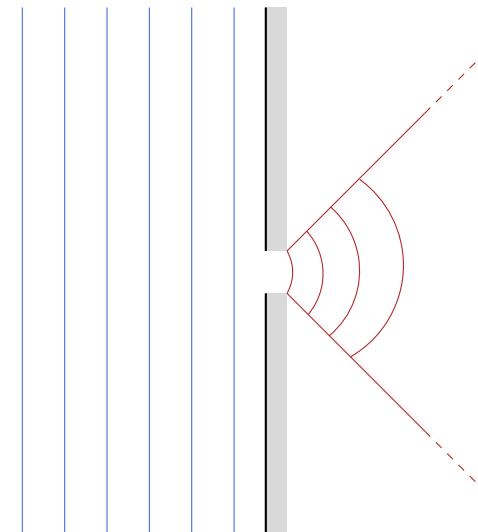


FIGURE 2 – Fente étroite

A-3 Situation naturelle

Exemple

La diffraction est un phénomène présent dans la nature comme le montre l'image ci-dessous de la baie de Saint Jean de Luz.

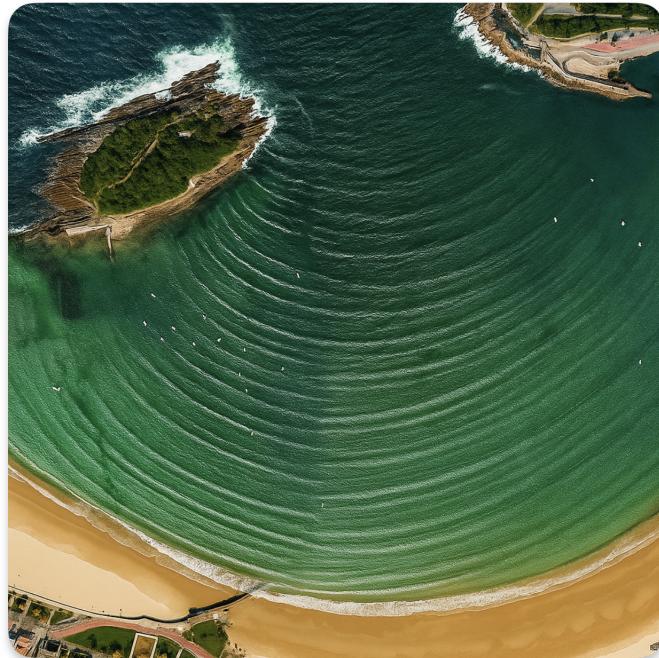


FIGURE 3 – Baie Saint Jean de Luz- (améliorée par IA)

B Angle de diffraction

Définition : Angle de diffraction

Dans le cas de la diffraction d'une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde λ par une fente rectangulaire de largeur a , l'angle caractéristique de diffraction θ a pour expression :

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

avec :

- λ la longueur d'onde en m
- a la largeur de la fente en m
- θ l'angle de diffraction en rad

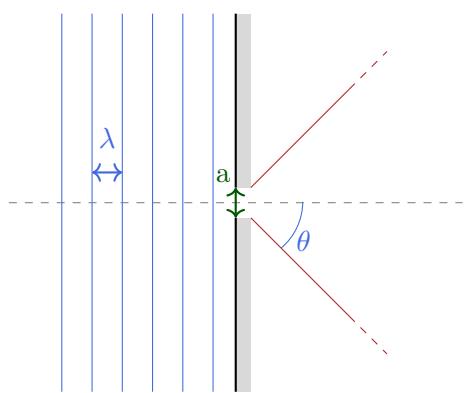


FIGURE 4 – Schéma de diffraction

Propriété : Lien entre l'angle de diffraction et la distance à l'écran

Ce phénomène de diffraction s'observe sur un écran placé à une distance d de l'obstacle.

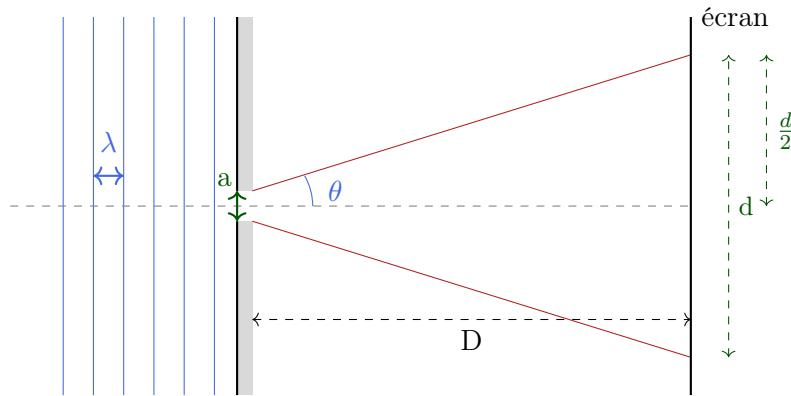


FIGURE 5 – Elaboration de la formule

Sur le schéma, il est aisément de voir que

$$\tan(\theta) = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}} =$$

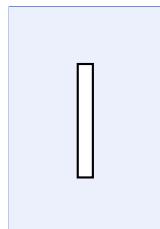
Et donc on peut en déduire que :

Définition : Théorème de Babinet

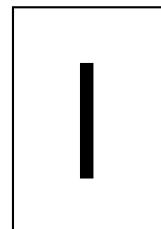
Deux objets sont complémentaires si les parties opaques de l'une correspondent à des parties transparentes de l'autre et inversement. Les figures de diffraction de deux objets complémentaires sont identiques.

Par exemple, la figure de diffraction d'un fil de largeur a est la même que celle d'une fente d'écartement a .

Trou (fente)



Obstacle (fil)



=

FIGURE 6 – Illustration du théorème de Babinet

**Exercice 1****Mesure de petites grandeurs (★)**

On éclaire un cheveu tendu verticalement avec un laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$. Un écran est placé à une distance $D = 1,50 \text{ m}$ du cheveu. On observe sur l'écran une figure de diffraction composée de franges sombres et claires.

La largeur mesurée de la tache centrale (zone lumineuse principale) est $L = 1,95 \text{ cm}$.

Q1 Faire un schéma de la situation expérimentale en indiquant clairement : le laser, le cheveu, l'écran, la distance D et la largeur L de la tache centrale.

Q2 Rappeler la relation permettant de relier la largeur de la tache centrale L à la longueur d'onde λ , la distance D et l'épaisseur du cheveu a (qu'on assimile à un obstacle fin).

Q3 En déduire une expression littérale de l'épaisseur a du cheveu, puis calculer sa valeur en mètre et en micromètre.

Q4 Est-ce que le résultat obtenu est cohérent avec ce qu'on attend pour un cheveu humain ? (On considère que l'épaisseur typique d'un cheveu humain est comprise entre $50 \mu\text{m}$ et $100 \mu\text{m}$.)

**Exercice 2** Un brin en matière synthétique - *Bac Métropole 1 2025* (★ ★)

Les violonistes frottent habituellement leurs cordes à l'aide de brins en matière naturelle issus de la crinière de chevaux. De nouveaux brins en matière synthétique sont de plus en plus utilisés par les musiciens.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le diamètre du nouveau brin en matière synthétique à l'aide du phénomène de diffraction, puis de le comparer au diamètre d'un brin naturel.

☰ Données

- Longueur d'onde du laser : $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, avec une incertitude-type $u(\lambda) = 0,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$;
- Distance entre le brin et l'écran : $D = 1,7 \text{ m}$;
- Largeur de la tache centrale : L (mesurée expérimentalement), avec une incertitude-type $u(L) = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

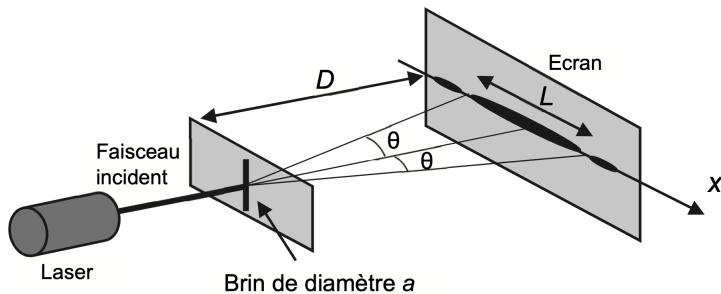


FIGURE 7 – Schéma du montage de diffraction d'un faisceau laser par un brin
Le demi-angle caractéristique de diffraction θ , en radians, a pour expression :

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

Sachant que θ est petit, on peut utiliser l'approximation : $\tan \theta \approx \theta$.

Q1 À l'aide de la figure 6, donner l'expression de θ en fonction de la distance D entre le brin et l'écran, et de la largeur L de la tache centrale.

Q2 Montrer que le diamètre a du brin en matière synthétique a pour expression :

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

Une simulation permet d'obtenir la distribution de l'intensité lumineuse sur l'écran :

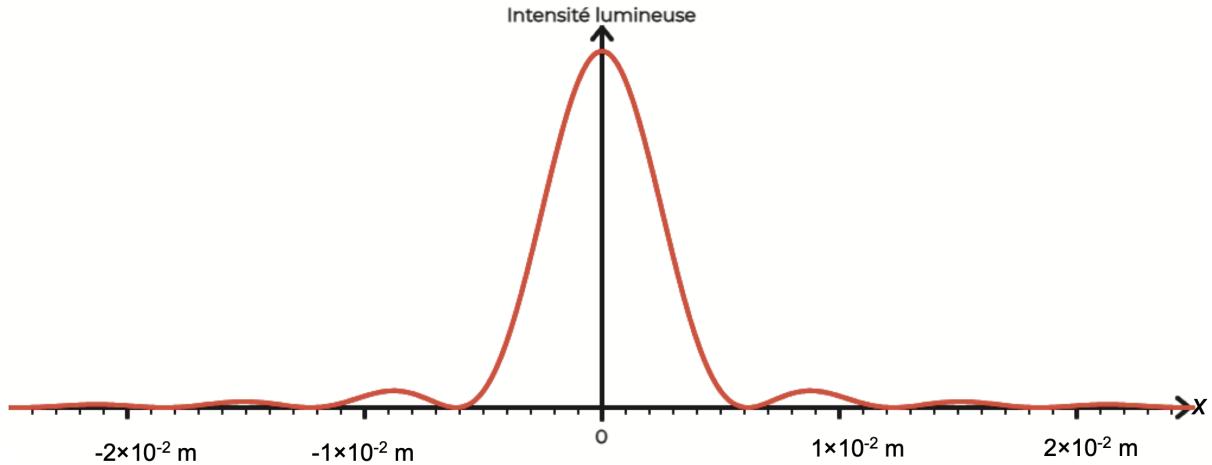


FIGURE 8 – Distribution de l'intensité lumineuse pour le brin en matière synthétique

Q3 À l'aide de la figure 7, montrer que la valeur du diamètre a du brin en matière synthétique est environ égale à $1,8 \times 10^{-4}$ m.

Une bonne estimation de l'incertitude-type associée à a est donnée par la relation :

$$u(a) = a \frac{u(L)}{L}$$

Q4 Calculer l'incertitude-type $u(a)$ associée au diamètre du brin en matière synthétique.

Q5 En tenant compte de l'incertitude-type, vérifier si le résultat du diamètre du brin en matière synthétique obtenu expérimentalement est en accord avec celui du brin issu de la crinière du cheval, qui vaut $1,7 \times 10^{-4}$ m.

II Interférences de deux ondes

A Interférences constructives et destructives

A-1 Différence de marche δ

■ Définition : Différence de marche

Lorsqu'une source lumineuse éclaire deux fentes séparées d'une distance a , les ondes issues de ces fentes peuvent interférer en un point M de l'écran. La **différence de marche** δ est la différence entre les distances parcourues par les deux ondes pour atteindre le point M .

$$\delta = S_2 M - S_1 M$$

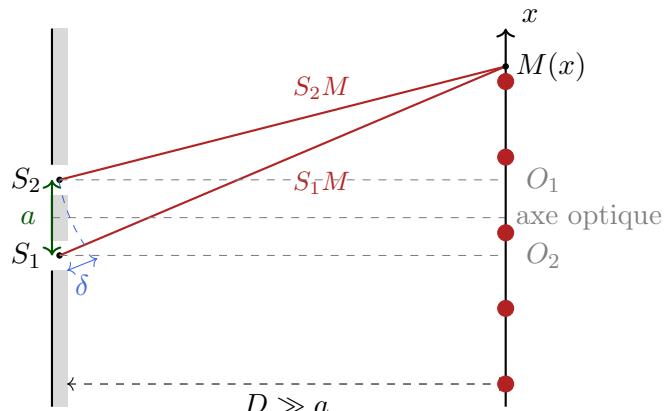


FIGURE 9 – Schéma de la situation

■ Démonstration : Hors Programme : Trouver δ en fonction de (x, a, D)

A-2 Différence temporelle et Conditions d'interférences

Propriété : Lien entre le décalage temporel et différence de marche

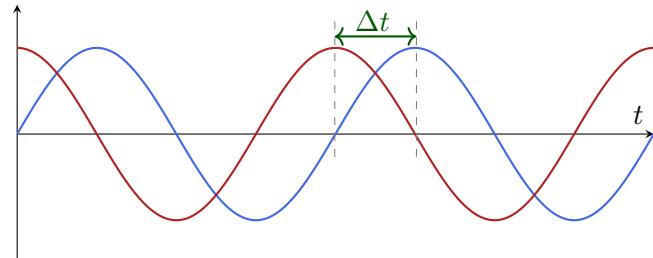
Si deux ondes issues de deux sources cohérentes S_1 et S_2 parcourent des distances différentes S_1M et S_2M dans un milieu d'indice n , leur **décalage temporel** Δt est lié à leur **différence de marche** δ par la relation :

$$\Delta t = \frac{\delta}{v} = \frac{n\delta}{c}$$

où :

- $\delta = S_2M - S_1M$ est la différence de marche,
- $v = \frac{c}{n}$ est la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu,
- c est la célérité de la lumière dans le vide.

— S_2 — S_1



Propriété : Conditions d'interférences

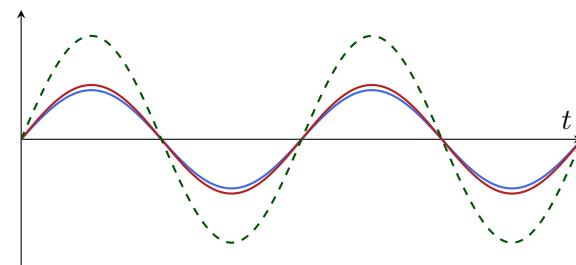
Lorsque deux ondes lumineuses cohérentes interfèrent, la nature de l'interférence (constructive ou destructive) en un point dépend de la **différence temporelle** Δt entre elles :

- **Interférences constructives** :

$$\Delta t = kT \quad \text{avec } k \in \mathbb{Z}$$

Les ondes arrivent en phase : elles se renforcent.

En phase (constructive)



Et donc **spatialement** :

$$\delta = k\lambda \quad \text{avec } k \in \mathbb{Z}$$

— S_1 — S_2 --- $S_1 + S_2$

- **Interférences destructives** :

$$\Delta t = (2k+1) \frac{T}{2} \quad \text{avec } k \in \mathbb{Z}$$

Les ondes arrivent en opposition de phase : elles s'annulent.

Opposition de phase (destructive)

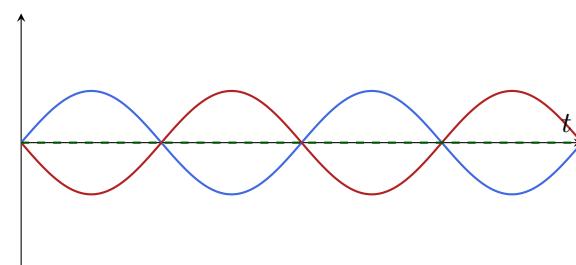


FIGURE 10 – Somme de deux ondes : en phase et en opposition de phase

B Interfranges

Définition : Interfranges

L'interfrange i est la distance entre deux franges brillantes (ou sombres) consécutives sur l'écran dans une figure d'interférences obtenue en lumière monochromatique.

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

où :

- λ est la longueur d'onde de la lumière,
- D est la distance entre les fentes et l'écran,
- a est la distance entre les deux fentes.

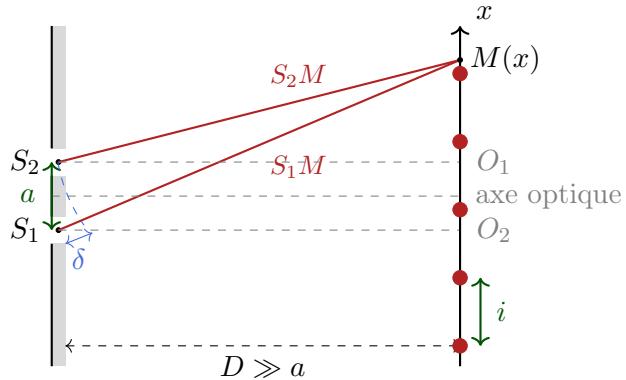


FIGURE 11 – Interférences lumineuses : différence de marche et interfrange sur l'écran

Exercice 3 Taille d'un masque respiratoire - Bac métropole 2 2022 (★★★)

La conception des masques respiratoires dépend de leur finalité : médicale, industrielle ou autre. Une des caractéristiques importantes est la dimension des particules qu'ils peuvent filtrer. Les virus peuvent être transportés par les microgouttelettes expulsées lors de la respiration ou de l'éternuement. Une toux génère des microgouttelettes de diamètre de plusieurs dizaines à une centaine de micromètres.

D'après <https://www.esanum.fr>

Problématique : La filtration obtenue grâce aux masques repose-t-elle uniquement sur un effet de « passoire » ?

Expérience n°1 :

Une fente de largeur $a = 0,15$ mm est éclairée par un faisceau laser. On observe sur un écran une figure de diffraction. En mesurant la largeur L de part et d'autre de la tâche centrale pour différentes distances D entre la fente et l'écran, on déduit la longueur d'onde λ de la lumière émise par le laser.

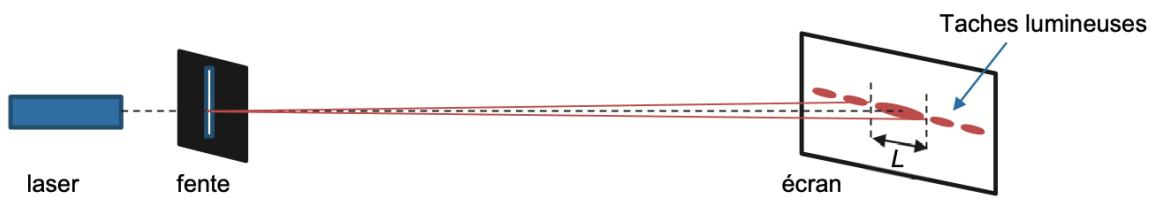


Schéma en coupe :

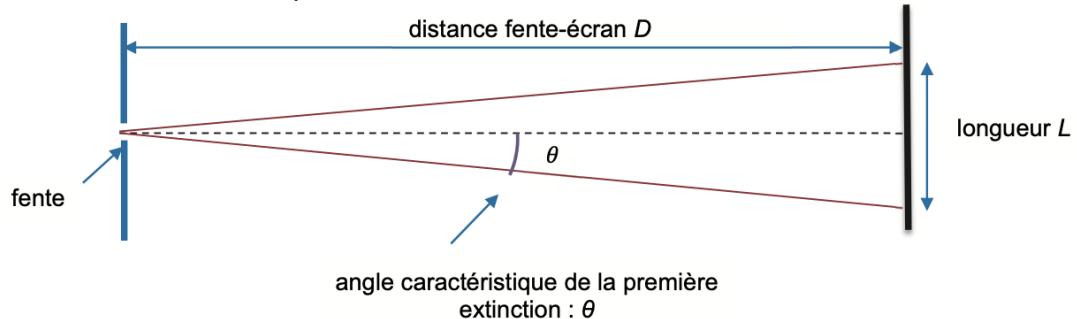


FIGURE 12 – Schéma de l'expérience n°1

Valeurs expérimentales :

Distance fente-écran mesurée D (en m)	1,000	1,500	1,800	2,300	2,800
Longueur tâche centrale mesurée L (en cm)	0,82	1,37	1,49	2,09	2,48
Longueur d'onde calculée λ_{exp} (en nm)	615	685	621	682	664

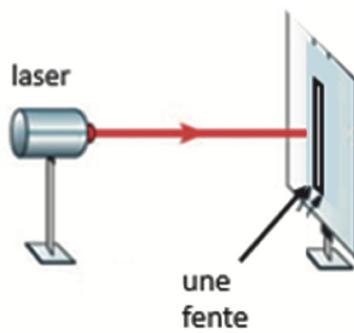
FIGURE 13 – Schéma de l'expérience n°1

Q1 Nommer le phénomène ondulatoire exploité par cette expérience.

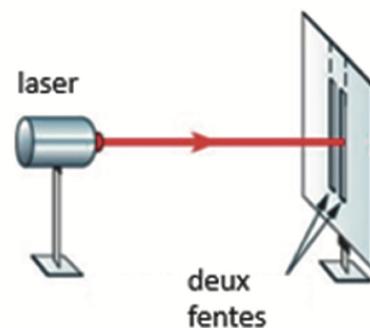
Q2 Déterminer la valeur de la moyenne de la longueur d'onde λ . On admet que l'incertitude-type, $u(\lambda)$, associée à la détermination de la longueur d'onde par cette expérience vaut 13 nm.

Q3 Comparer le résultat obtenu avec la valeur de référence donnée par le fabricant du laser, qui indique une longueur d'onde de valeur $\lambda = 650$ nm.

Une nouvelle expérience est réalisée à partir de la première : la fente simple est remplacée par une double fente. Le reste du dispositif étant inchangé, l'écran est placé à la distance $D = 2,23$ m. C'est l'**expérience n°2**.



Expérience n°1



Expérience n°2

FIGURE 14 – Expériences 1 et Expériences 2

Un logiciel de traitement d'image permet d'obtenir la distribution de l'intensité lumineuse le long de la tâche obtenue sur l'écran. Les résultats obtenus pour les deux expériences sont présentés ci-après.

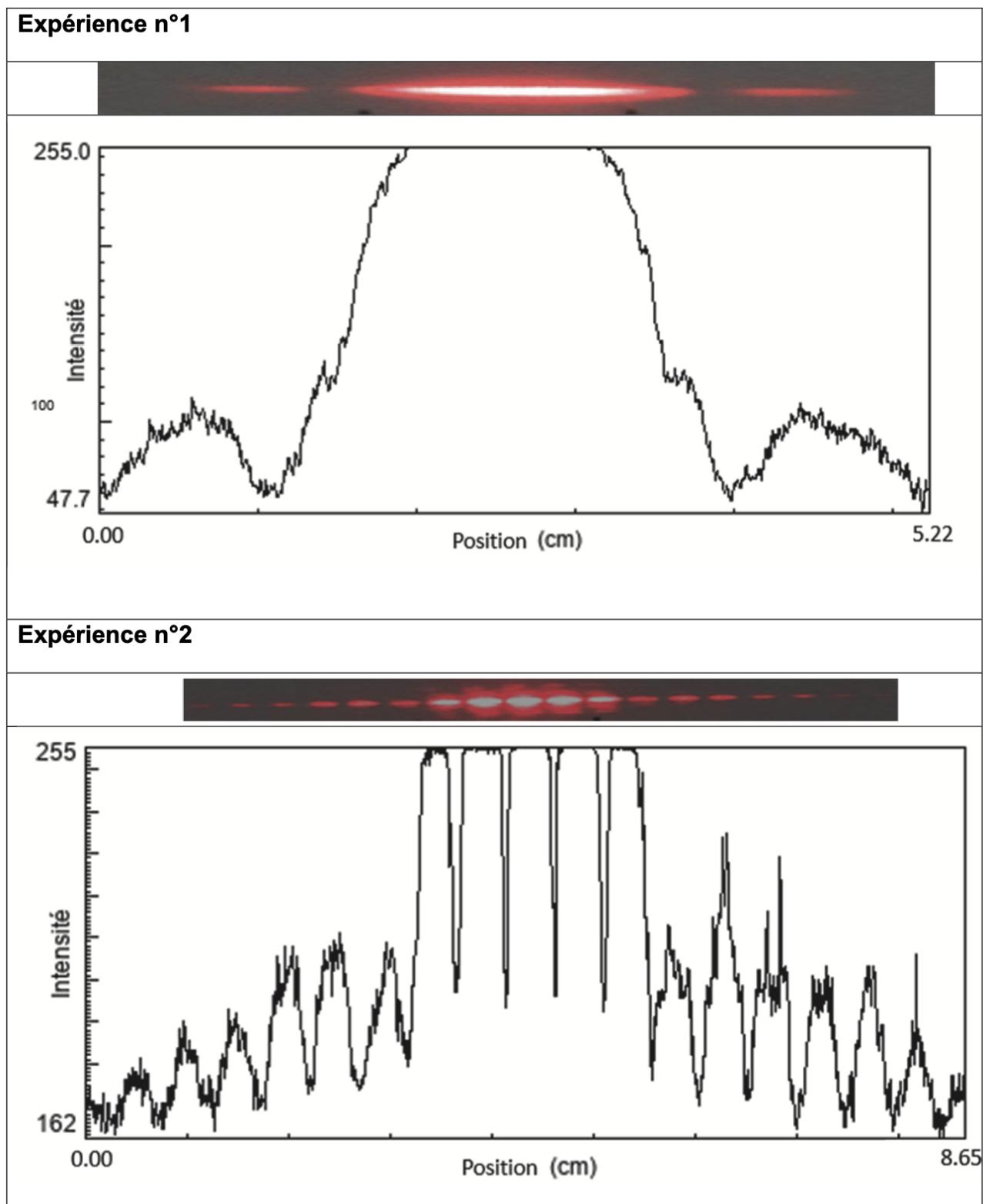


FIGURE 15 – Résultats des expériences

Q4 Nommer les phénomènes physiques sous-jacents à l'expérience n°2.

Un masque respiratoire en tissu est réalisé en superposant deux couches de tissu. Chaque couche de tissu est constituée d'une trame de fils horizontaux et de fils verticaux. La double fente de l'expérience n°2 est remplacée par une couche de tissu modérément tendu, les autres conditions de l'expérience (nature du laser, distance fente-écran $D = 2,23\text{ m}$) restant inchangées.

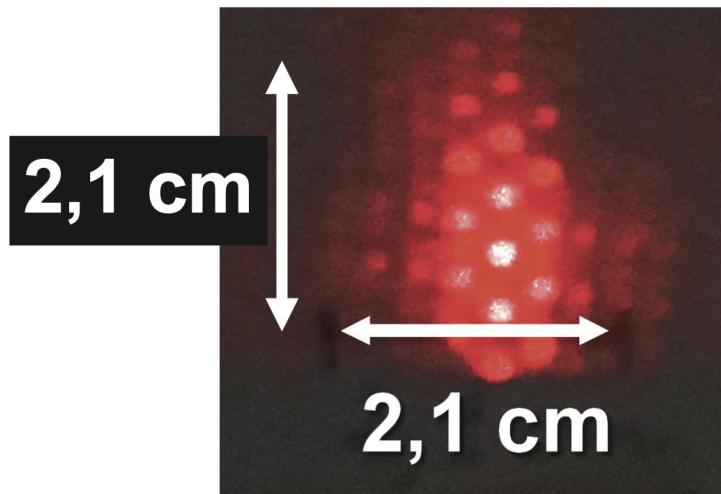


FIGURE 16 – Photographie de l'écran

Q5 En utilisant les données, estimer la valeur de la distance séparant deux fils horizontaux.

Q6 Comparer la taille d'une maille (maille = trou) d'un masque, avec les dimensions des microgouttelettes expulsées lors de la respiration ou de l'éternuement. On néglige ici l'épaisseur des fils. Les masques homologués ont une efficacité de filtration des microgouttelettes très proche de 100 %.

Q7 Commenter ce résultat au regard de votre réponse à la question précédente.