

Diffraction par fentes multiples et réseaux

DÉMONSTRATION DE LA NATURE DES ONDES LUMINEUSES ET DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR D'ONDE.

- Étude de la diffraction sur des fentes doubles avec différents écarts de fentes.
- Étude de la diffraction sur des fentes doubles avec différentes largeurs de fentes.
- Étude de la diffraction sur des fentes multiples avec différentes quantités de fentes.
- Étude de la diffraction par un réseau à traits et un réseau croisé.

UE4030200

11/15 JS/UD



Fig. 1 : Disposition pour mesure.

NOTIONS DE BASE GENERALES

La diffraction de la lumière par des fentes multiples et des réseaux peut être décrite par la superposition des ondes élémentaires cohérentes qui, selon le principe Huygens, partent de chaque point illuminé dans une fente multiple. Dans certaines directions, la superposition engendre une interférence constructive ou destructive et explique ainsi le système de bandes claires et sombres que l'on observe derrière la fente multiple.

Derrière une fente double, l'intensité est maximale dans un angle d'observation α_n s'il existe pour chaque onde élémentaire de la première fente très précisément une onde élémentaire de la seconde fente qui se superpose à elle de façon constructive. C'est le cas lorsque la différence de chemins ΔS_n entre les ondes élémentaires partant du centre des fentes représente un multiple entier de la longueur d'onde λ de la lumière (voir fig. 2).

$$(1) \Delta S_n(\alpha_n) = n \cdot \lambda$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$: ordre de diffraction

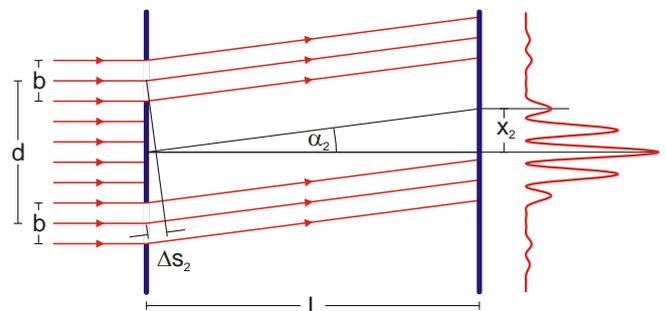


Fig. 2 : Représentation schématique de la diffraction de lumière par une fente double (b : largeur de fente, d : écart des fentes, L : distance entre l'écran d'observation et la fente double, x_2 : écart entre le second maximum et le centre, α_2 : sens d'observation pour le second maximum, ΔS_2 : différence de chemins des rayons centraux).

Lorsque la distance L par rapport à la fente double est importante, on obtient l'équation suivante pour de petits angles d'observation α_n entre la différence de chemins Δs_n et les coordonnées locales x_n des maxima d'intensité :

$$(2) \quad \frac{\Delta s_n}{d} = \sin \alpha_n \approx \tan \alpha_n = \frac{x_n}{L}$$

d : écart des fentes

Aussi les maxima sont-ils côte à côte dans un écart régulier :

$$(3) \quad a = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{d} \cdot L.$$

Ceci s'applique également à la diffraction par une fente multiple avec plus de deux fentes équidistantes. L'équation (1) indique la condition pour une interférence constructive des ondes élémentaires de toutes les N fentes. Aussi les équations (2) et (3) s'appliquent-elles aussi à la fente multiple.

Déterminer les maxima d'intensité exige une démarche mathématique plus importante : tandis que la fente double présente au milieu de deux maxima d'intensité très précisément un minimum, la fente multiple présente un minimum entre les n -ième et $(n+1)$ -ième maxima si les ondes élémentaires des N fentes sont interférées de manière à ce que l'intensité globale soit nulle. C'est le cas lorsque la différence de chemins entre les ondes élémentaires partant des centres des fentes remplit la condition

$$(4) \quad \Delta s = n \cdot \lambda + m \frac{\lambda}{N}$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad m = 1, \dots, N-1$$

On trouve donc $N-1$ minima et, entre eux, $N-2$ de maxima secondaires, dont l'intensité est inférieure à celle des maxima principaux.

Au fur et à mesure qu'augmente la valeur N de la fente, la valeur des maxima secondaires diminue. On ne parle plus de fente multiple, mais de réseau à traits. Enfin, un réseau croisé peut être considéré comme un agencement de deux réseaux à traits tourné l'un de l'autre dans un angle de 90° . Sur un réseau rectangulaire, dont la maille est donnée par l'équation (3), les maxima de diffraction deviennent des points.

Modulée par la répartition de luminosité issue de la diffraction par la fente simple, la luminosité dans les maxima principaux est d'autant plus concentrée sur de petits angles α que la largeur de fente b est importante. Pour obtenir un calcul précis, on ajoute à l'amplitude globale A les amplitudes de toutes les ondes élémentaires en tenant compte des différences de chemins. A un endroit quelconque x de l'écran, on a donc

$$(5) \quad I = A^2 \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(N \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)} \right)^2 = f(x).$$

Au point $x = 0$ au centre de la répartition de la luminosité, la fonction $f(x)$ à droite de l'équation (5) est donnée par la valeur limite suivante :

$$(6) \quad \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = N^2$$

Le premier facteur de $f(x)$ décrit la diffraction sur une fente individuelle et le deuxième l'interférence entre N fentes.

LISTE DES APPAREILS

1	Diode laser rouge de précision	U22000	1003201
1	Banc optique K, 1000 mm	U8475240	1009696
2	Cavalier optique K	U8475350	1000862
1	Porte-diaphragme K	U84755401	1008518
1	Support K pour laser à diode	U8475550	1000868
1	Diaphragme à 3 fentes doubles de différentes largeurs de fente	U14100	1000596
1	Diaphragme à 4 fentes doubles de différents écarts de fente	U14101	1000597
1	Diaphragme à 4 fentes multiples et réseaux	U14102	1000598
1	Diaphragme à 3 réseaux à traits	U14103	1000599
1	Diaphragme à 2 réseaux croisés	U14106	1000601

MONTAGE ET REALISATION

- Placer et fixer un cavalier optique à 0 cm et un autre à 70 cm sur le banc optique (Fig. 1).
- Introduire et fixer le laser à diodes dans son support. Enficher le support avec le laser à diodes sur le cavalier optique en position 70 cm.
- Enficher le support de fixation sur le cavalier optique en position 0 cm. Fixer un diaphragme avec des objets de diffraction dans le support de fixation, de sorte que l'objet de diffraction soit centré sur l'axe optique.
- Positionner un écran de projection dans un écart $L \approx 7$ m de l'objet de diffraction (Fig. 2) en angle droit avec l'axe optique. Mesurer avec précision, puis noter l'écart entre l'objet de diffraction et l'écran de projection. Ne plus modifier la position du banc optique, le cas échéant mesurer de nouveau l'écart L à chaque changement de diaphragme ou d'objet de diffraction.
- Brancher l'alimentation enfichable du laser à diodes au secteur et allumer le laser à diodes.
- Fixer successivement tous les diaphragmes avec des objets de diffraction dans le support de fixation, puis observer à l'écran, le cas échéant photographier à chaque fois la répartition de luminosité pour tous les objets de diffraction.
- Pour les 4 fentes doubles à différents écarts de fentes, mesurer l'écart x_n entre un maximum de l'ordre $n \neq 0$ et le maximum d'ordre 0 au centre de la répartition de luminosité (exemple pour $n = 2$, voir Fig. 2) et le noter dans le Tab. 1 (voir Évaluation).

EXEMPLE DE MESURE

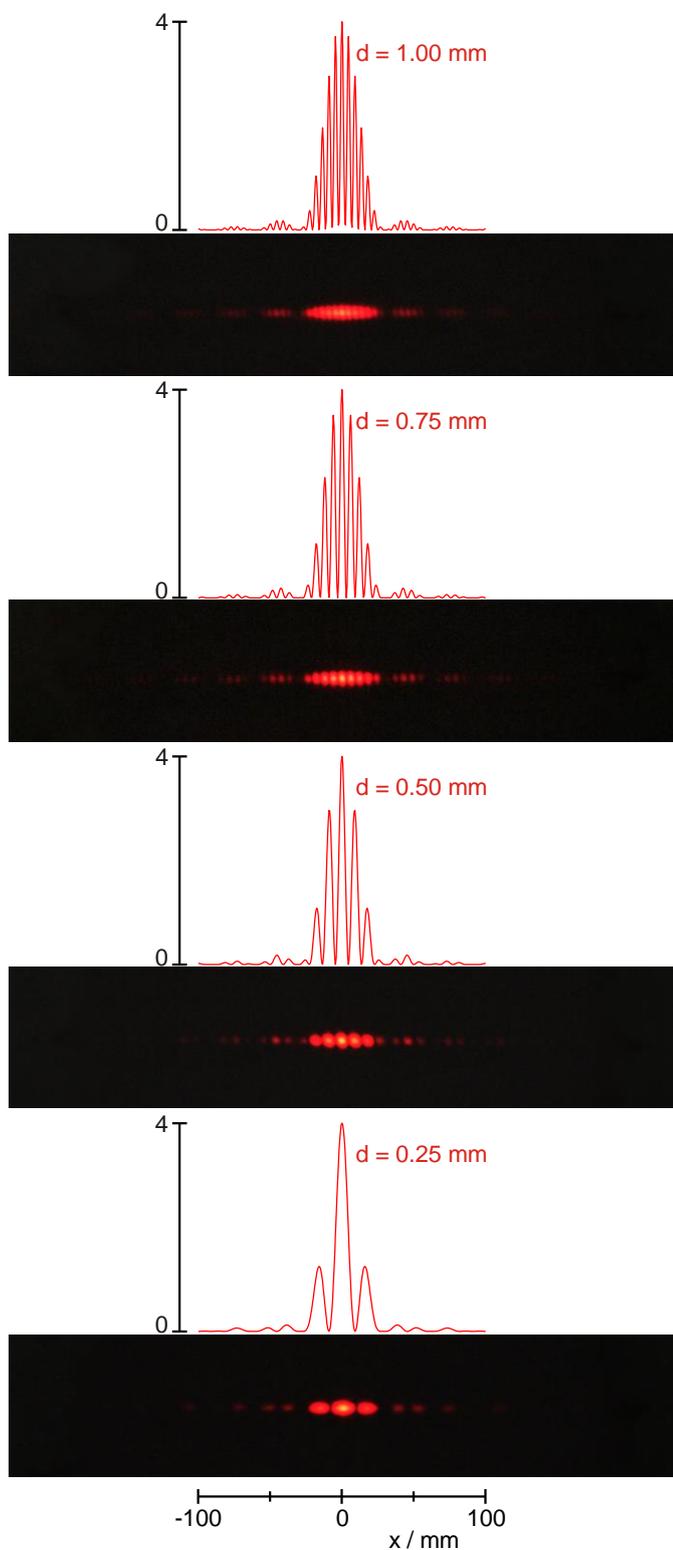


Fig. 3 : Diffraction sur la fente double avec différents écarts de fentes d . Fonction calculée $f(x)$ et intensité observée. Nombre de fentes $N = 2$, largeur de fente $b = 0,15$ mm.

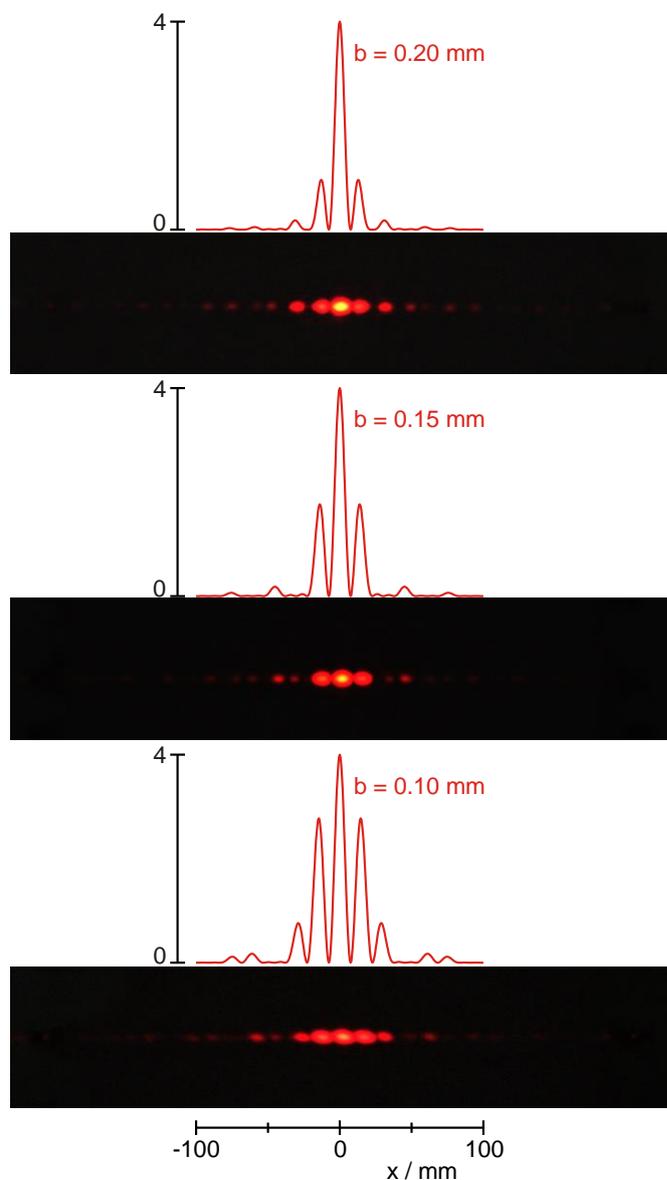


Fig. 4 : Diffraction sur la fente double avec différentes largeurs de fentes b . Fonction calculée $f(x)$ et intensité observée. Nombre de fentes $N = 2$, écart de fente $d = 0,30$ mm.

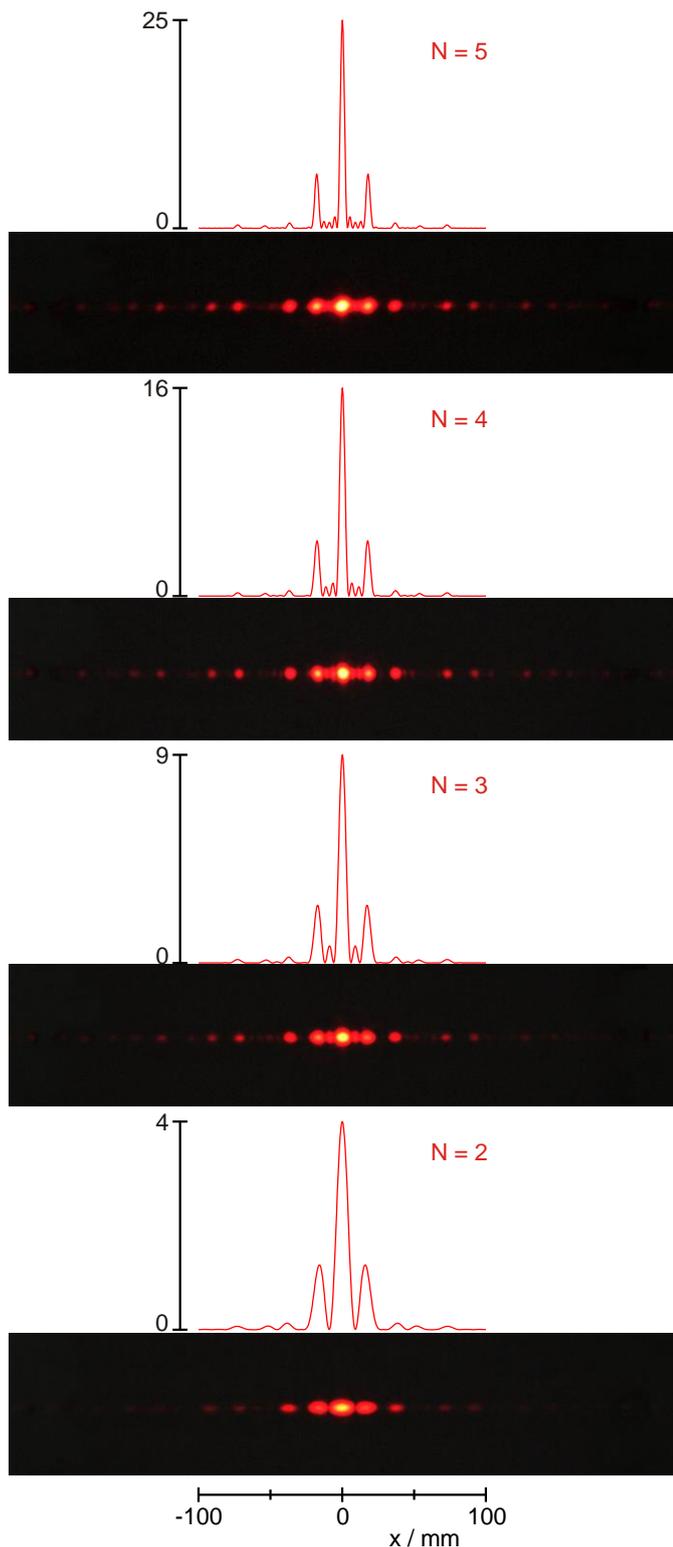


Fig. 5 : Diffraction sur des fentes multiples avec différentes quantités de fentes N . Fonction calculée $f(x)$ et intensité observée. Écart de fente $d = 0,25$ mm, largeur de fente $b = 0,15$ mm.

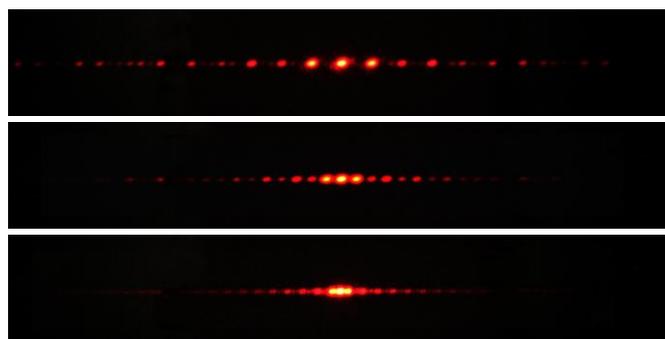


Fig. 6 : Diffraction sur des réseaux à 20 traits (en bas), 40 traits (au milieu) et 80 traits / cm (en haut), selon les constantes de réseau $g = 0,50, 0,25$ et $0,125$ mm.

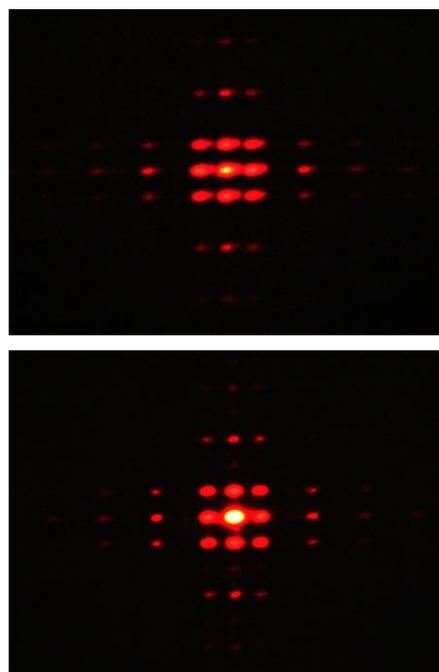


Fig. 7 : Diffraction sur un réseau croisé blanc (en bas) et noir (en haut) avec 40 lignes / cm, selon une constante de réseau $g = 0,25$ mm.

ÉVALUATION

Pour permettre une évaluation détaillée des répartitions de luminosité observées à l'écran avec les différents diaphragmes à fente, on calcule les répartitions de luminosité et les fonctions $f(x)$ selon l'équation (5) en utilisant les largeurs, écarts et quantités de fentes prescrits, puis on les compare avec les répartitions de luminosité observées à l'écran (Fig. 3, 4 et 5).

Avec les fentes présentant différents écarts (Fig. 3), on observe que, au fur et à mesure que l'écart augmente, le nombre de maxima d'interférences augmente aussi, mais que leur largeur diminue, car la largeur des maxima de diffraction (enveloppe des maxima d'interférence) reste constante. Au fur et à mesure qu'augmente l'écart des fentes, un nombre toujours plus important d'ondes diffractées peuvent interférer entre elles.

Avec les fentes présentant différentes largeurs (Fig. 4), on observe que, au fur et à mesure que la largeur de fente augmente, le nombre de maxima d'interférences reste constant et que leur intensité pour les ordres $n \neq 0$ diminue, car la largeur des maxima de diffraction (enveloppe des maxima d'interférence) diminue. En raison de la diffraction atténuée par une largeur de fente croissante, l'interférence entre les ondes diffractées est plus faible.

Pour la fente multiple (Fig. 5), on observe comme prévu $N-2$ maxima secondaires, c'est-à-dire aucun maximum secondaire avec la fente double, un avec la fente triple, deux avec la fente quadruple et trois avec la fente quintuple.

D'une manière générale, aucun maximum d'interférence ne peut être observé aux endroits où l'on trouve des minima de diffraction. C'est le cas lorsque le premier facteur de $f(x)$ dans l'équation (5) devient nul, donc un multiple entier de $x = (\lambda / b) \cdot L$. Pour $b = 0,15 \text{ mm}$, on obtient par ex. (voir Fig. 3 et Fig. 5) :

$$(7) \quad x = \frac{\lambda}{b} \cdot L = \frac{650 \text{ nm}}{0,15 \text{ mm}} \cdot 7 \text{ m} = 30,3 \text{ mm}$$

Sur les trois réseaux à traits (Fig. 6), la valeur des maxima secondaires disparaît comme prévu et l'écart a des maxima principaux à l'écran augmente selon l'équation (3) au fur et à mesure qu'augmente le nombre de lignes/cm, en fonction de la constante de réseau décroissante g .

Avec les deux réseaux croisés (Fig. 7), les maxima de diffraction deviennent comme prévu des points sur un réseau rectangulaire. Les maxima de diffraction du réseau croisé blanc apparaissent plus clairs que ceux du réseau croisé noir, car l'un transmet plus d'intensité et absorbe par conséquent moins d'intensité que l'autre.

Selon l'équation (3), c'est à partir des écarts réguliers a des maxima qu'on détermine la longueur d'onde de la lumière diffractée pour des fentes doubles présentant différents écarts.

- Former les quotients L / d pour les 4 fentes doubles de différents écarts (Tab. 1).
- Pour déterminer l'écart a des maxima, diviser à chaque fois les écarts mesurés x_n par l'ordre de diffraction n (Tab. 1).
- Dans un diagramme, reporter les valeurs déterminées par la mesure pour a par rapport à L / d et adapter une droite aux points de mesure (Fig. 8).

Selon l'équation (3), la pente des droites adaptées correspond exactement à la longueur d'onde λ :

$$(8) \quad a = \lambda \cdot \left(\frac{L}{d} \right)$$

On obtient une valeur de $\lambda = 630 \text{ nm}$ qui, à 3 % près, correspond à la valeur spécifique $\lambda = 650 \text{ nm}$.

Tab. 1 : Diffraction sur la fente double avec différents écarts de fentes d , cf. Fig. 3 ($L = 7 \text{ m}$: écart avec l'écran, n : ordre de diffraction, x_n : écart mesuré, a : écart déterminé des maxima résultant de x_n).

d / mm	L / d	n	x_n / mm	a / mm
0,25	28000	2	35,56	17,78
0,50	14000	6	53,20	8,87
0,75	9333	8	47,60	5,95
1,00	7000	12	53,20	4,43

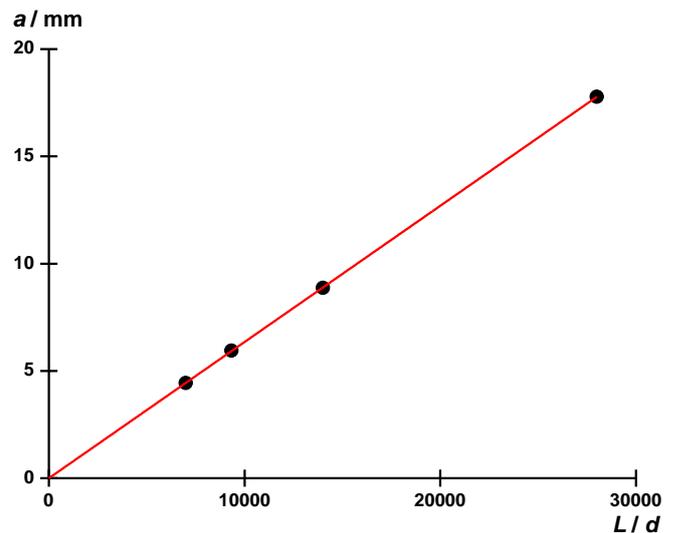


Fig. 8 : Écarts des maxima a en fonction du quotient L / d résultant de l'écart de l'écran $L = 7 \text{ m}$ et des écarts des fentes d .

