



Optique

Chapitre n°02 Interférences par division du front d'onde : trous d'Young



Thomas YOUNG (1773-1829), est un physicien, médecin et égyptologue anglais. Il est surtout connu pour sa définition du module de Young en science des matériaux et pour son expérience des fentes de Young en optique (1801) pour former des franges d'interférences : Young en déduit alors la nature ondulatoire de la lumière.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Thomas_Young

Pré-requis

- PCSI : Optique géométrique ; Propagation d'un signal – Interférences (trous d'Young)
- PC : O1. Optique ondulatoire – Superposition d'ondes lumineuses

Objectifs du chapitre

- Étudier la figure d'interférence obtenue avec un dispositif des trous ou des fentes d'Young.
- Étudier l'effet de l'élargissement spectral ou spatial de la source.

Plan du cours

I Trous d'Young

I.1 Dispositif	3
I.1.a) Montage	3
I.1.b) Diffraction et champ d'interférence	3
I.2 Figure d'interférence	4
I.2.a) Différence de marche	4
I.2.b) Intensité lumineuse	4
I.3 Configuration de Fraunhofer	4
I.3.a) Description du montage	4
I.3.b) Différence de marche	5

II Élargissement spatial

II.1 Source étendue spatialement	5
II.2 Élargissement perpendiculaire	5

II.2.a) Effet de la translation de la source	5
II.2.b) Source étendue $\perp (T_1 T_2)$	6
II.2.c) Fentes d'Young	6
II.3 Élargissement parallèle	6
II.3.a) Translation	6
II.3.b) Deux points sources	7
II.3.c) Source étendue $\parallel (T_1 T_2)$	8

III Élargissement spectral

III.1 Doublet	9
III.2 Raie spectrale étendue	11
III.3 En lumière blanche	14

IV Effet de la diffraction

IV.1 Diffraction ?	15
IV.2 Trous d'Young	15
IV.3 Fentes d'Young	16

Programme officiel

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young	
Dispositif-modèle des trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif (source ponctuelle à grande distance finie ; observation à grande distance finie).	
Champ d'interférences. Ordre d'interférences.	Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences.
Franges d'interférences.	Justifier la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous d'Young.
Du dispositif-modèle au dispositif réel.	
Fentes d'Young. Montage de Fraunhofer.	Identifier l'effet de la diffraction sur la figure observée. Expliquer l'intérêt pratique du dispositif des fentes d'Young comparativement aux trous d'Young. Exprimer l'ordre d'interférences sur l'écran dans le cas d'un dispositif des fentes d'Young utilisé en configuration de Fraunhofer.
Perte de contraste par élargissement spatial de la source.	Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences pour interpréter des observations expérimentales.
Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences pour interpréter des observations expérimentales. Relier la longueur de cohérence temporelle, la largeur spectrale et la longueur d'onde en ordres de grandeur.
Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).	Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.

Ai-je bien appris mon cours ?

- 1 – 😊 – 😞 – Définir le champ d'interférence associé aux trous d'Young.
- 2 – 😊 – 😞 – Établir l'expression de l'ordre d'interférence en un point d'un écran situé à grande distance des deux trous d'Young.
- 3 – 😊 – 😞 – Donner l'expression de l'ordre d'interférence en un point d'un écran situé à grande distance des deux trous d'Young.
- 4 – 😊 – 😞 – Décrire la figure d'interférence obtenu avec deux trous d'Young sur un écran situé à grande distance.
- 5 – 😊 – 😞 – Quel est l'intérêt d'utiliser des fentes plutôt que des trous ?
- 6 – 😊 – 😞 – Décrire la configuration de Fraunhofer.
- 7 – 😊 – 😞 – Établir l'expression de l'ordre d'interférence sur l'écran dans le cas des fentes d'Young utilisées dans la configuration de Fraunhofer.
- 8 – 😊 – 😞 – Quel est l'effet de la diffraction sur la figure d'interférences ?
- 9 – 😊 – 😞 – Décrire les observations faites lorsque la source est élargie spatialement.
- 10 – 😊 – 😞 – Donner le critère semi-quantitatif de brouillage des franges par élargissement spatial de la source.
- 11 – 😊 – 😞 – Décrire les observations faites lorsque la source est élargie spectralement.
- 12 – 😊 – 😞 – Donner le critère semi-quantitatif de brouillage des franges par élargissement spectral de la source.
- 13 – 😊 – 😞 – Donner la relation la longueur de cohérence temporelle, largeur spectrale et la longueur d'onde en ordres de grandeur.



I Trous d'Young

I.1 Dispositif

Dans toute cette partie on utilise une source lumineuse monochromatique dans l'air d'indice optique $n_0 = 1$ qui éclaire un dispositif des trous d'Young.

I.1.a) Montage

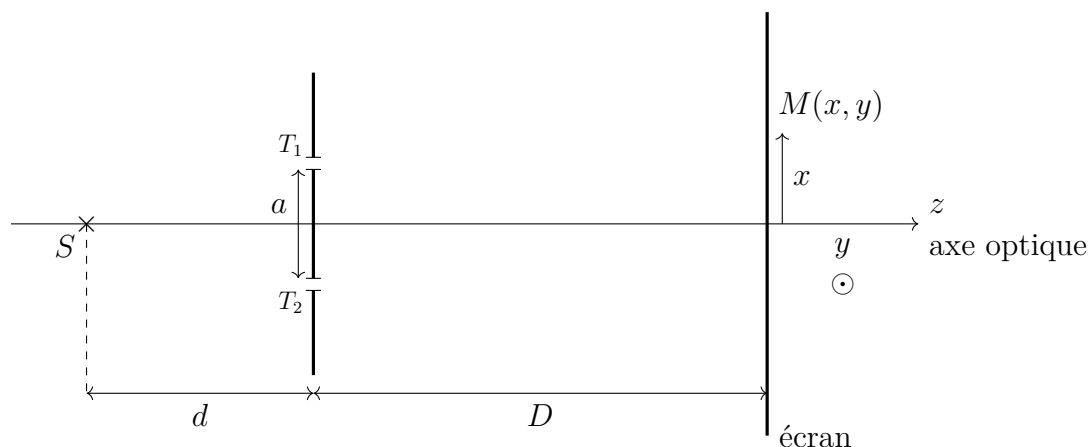


FIGURE 1 – Dispositif des trous d'Young

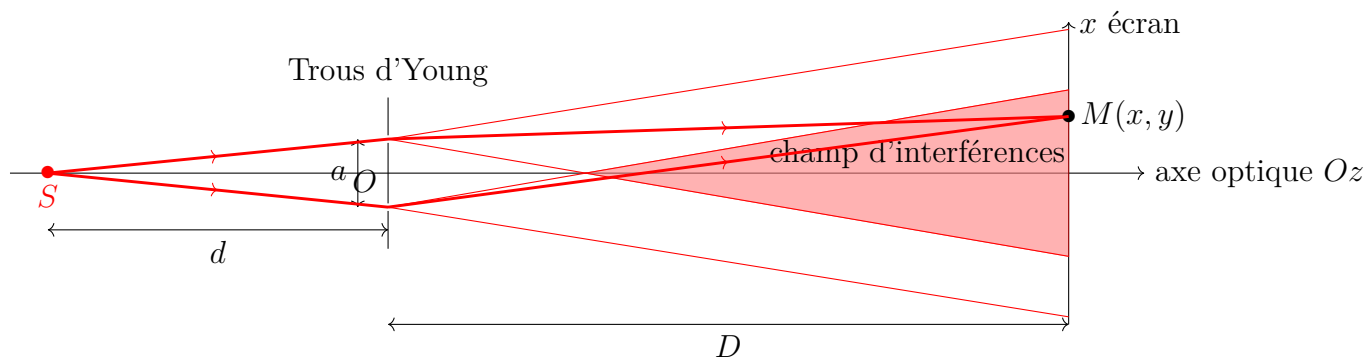
Ce dispositif est constitué de deux trous, de faible rayon percés dans un écran opaque, séparés d'une faible distance, éclairés par une source monochromatique ponctuelle. Un écran est placé dans ce champ d'interférence, à une distance du plan des trous.

Le diamètre des trous et leur écartement a sont de l'ordre de grandeur des longueurs d'onde optiques du μm à quelques dizaines de μm .

Les distances d entre la source et le plan des trous, et D entre le plan des trous et l'écran d'observation sont très grandes devant la distance a , le diamètre des trous, et la longueur d'onde λ .

I.1.b) Diffraction et champ d'interférence

De part la diffraction qui se produit au niveau de chaque trou d'Young, le faisceau émergent des trous est étalé angulairement, d'un demi-angle d'ouverture θ , tel que $\sin(\theta) \sim \frac{\lambda}{2r}$. r étant faible devant λ , les faisceaux émergents des trous sont de grande ouverture, permettant aux ondes de se recouvrir dans une partie de l'espace, où les interférences peuvent alors se produire : c'est le **champ d'interférence**.



I.2 Figure d'interférence

I.2.a) Différence de marche

📌 Démonstration à maîtriser n°1 – Expression de la différence de chemin optique

On note T_1 et T_2 les deux trous d'Young, et n l'indice optique du milieu de propagation.

- Q1. Faire un schéma avec la sources, les deux trous, l'écran, et deux rayons interférant en un point M quelconque de l'écran l'un passant par le premier trou, l'autre par le deuxième.
- Q2. Exprimer la différence de chemin optique entre S et M selon le chemin emprunté, dans le cadre de l'approximation $D \gg a, x$
- Q3. En déduire l'expression de l'ordre d'interférence.

I.2.b) Intensité lumineuse

📌 Démonstration à maîtriser n°2 – Description de la figure d'interférences

- Q1. Exprimer l'intensité lumineuse en un point de l'écran.
- Q2. Décrire la figure d'interférences. Exprimer la période spatiale de l'intensité, appelée **interfrange**, notée i .
- Q3. Commenter la dépendance de cette interfrange avec les différents paramètres de l'expérience.
- Q4. À quelle condition les interférences sont-elles constructives en M ? Quelle est l'allure des franges lumineuses (=maximum d'intensité) ?

📖 Définition – Interfrange

L'interfrange est définie comme la période spatiale de la figure d'interférence : c'est la distance sur la figure d'interférence entre deux franges sombres ou deux franges brillantes consécutives.

$$\Delta\varphi(x+i) - \Delta\varphi(x) = 2\pi \quad p(x+i) - p(x) = 1 \quad \delta(x+i) - \delta(x) = \lambda_0$$

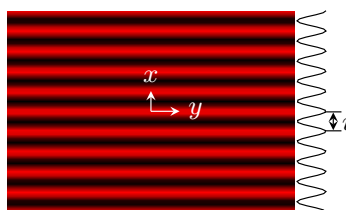


FIGURE 2 – Figure d'interférences (D'après <https://femto-physique.fr>)

I.3 Configuration de Fraunhofer

I.3.a) Description du montage

❤️ À retenir – Configuration de Fraunhofer

Dans le montage de Fraunhofer, les trous d'Young sont éclairés par une source lumineuse placée au foyer objet d'une lentille convergente ($\mathcal{L}_1$) de distance focale image f'_1 . La figure d'interférences est observée dans le plan focal image d'une lentille convergente ($\mathcal{L}_2$) de distance focale image f'_2 placé derrière le dispositif.

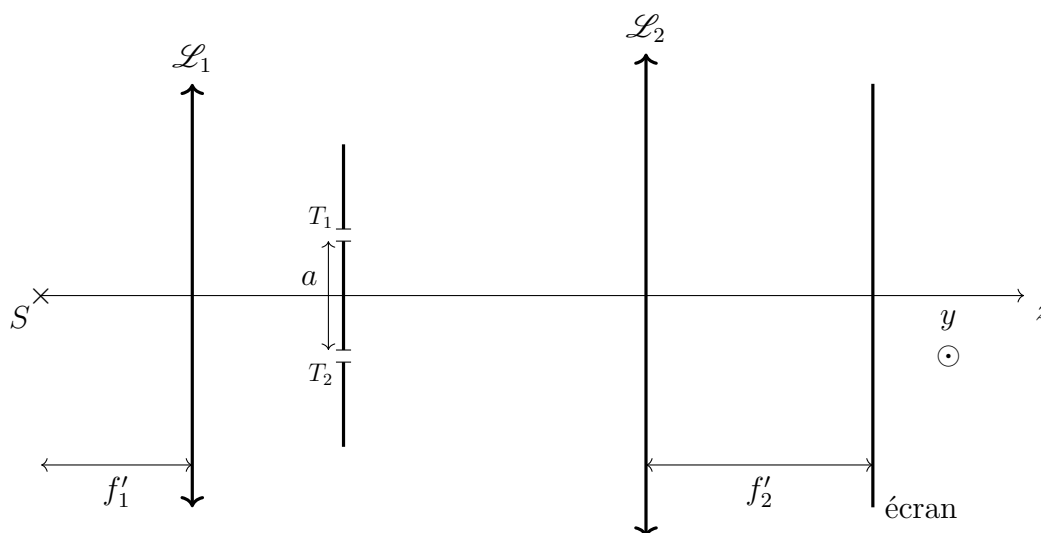


FIGURE 3 – Dispositif des trous d'Young

I.3.b) Différence de marche

Démonstration à maîtriser n°3 – Différence de marche

On considère les trous d'Young utilisés dans la configuration de Fraunhofer.

- Q1. Tracer les deux rayons lumineux interférant au point M de l'écran.
- Q2. Tracer les surfaces d'ondes entre les différents éléments du montage en utilisant le théorème de Malus.
- Q3. Simplifier au maximum l'expression de la différence de marche.
- Q4. Exprimer $(T_2M) - (T_1M)$ en fonction de l'angle α des rayons émergents des trous d'Young interférant en M et de a .
- Q5. En déduire une expression de $\delta(M)$ en fonction de f'_2 , a et x .
- Q6. En déduire l'ordre d'interférence en un point de l'écran.

II Source étendue et monochromatique – Cohérence SPATIALE

II.1 Source étendue spatialement

Afin d'augmenter la luminosité (attention à ne pas confondre avec le contraste!) de la figure d'interférences, il peut être intéressant d'utiliser une source de grande taille.

Définition – Source étendue

Une **source étendue (spatialement)** se modélise comme une juxtaposition de sources ponctuelles incohérentes.

L'intensité totale est la somme des intensités issues de chaque point de la source : les ondes issues de deux points voisins n'interfèrent pas. En effet, les photons émis par deux points voisins de la source n'ont pas été émis par les mêmes atomes donc les phases des trains d'onde produits par des atomes voisins ne peuvent pas être corrélées.

II.2 Élargissement perpendiculaire à l'axe des trous

II.2.a) Effet de la translation de la source

Considérons un premier cas où la source ponctuelle S' monochromatique est translatée selon l'axe (Oy) , c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe des trous, les coordonnées de S' sont $S'(x = 0, y \neq 0, z = -d)$.

La source S' est toujours dans le plan médiateur des trous d'Young, donc les chemins optiques $(S'T_1)$ et $(S'T_2)$ sont égaux : $(S'T_1) = (S'T_2)$.

La différence de chemin optique est donc inchangée :

$$\begin{aligned}\delta_{S'}(M) &= (S'M)_2 - (S'M)_1 \\ &= (S'T_2) + (T_2M) - (S'T_1) - (T_1M) \\ &= (T_2M) - (T_1M) \\ &= \delta_S(M)\end{aligned}$$

La figure d'interférence est donc inchangée lors de la translation de la source ponctuelle selon l'axe (Oy) , perpendiculaire à l'axe des trous.

II.2.b) Source étendue $\perp (T_1T_2)$

Considérons maintenant une source étendue dans la direction de l'axe (Oy) , c'est-à-dire parallèle aux franges, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe des trous. Les différentes sources ponctuelles qui constituent la source étendue sont incohérentes entre elles : l'intensité à l'écran est donc la somme des intensités liées à chaque source. Chaque source ponctuelle incohérente produit une figure d'interférence identique, donc la figure d'interférence obtenue est donc plus lumineuse.

♥ À retenir – Extension spatiale perpendiculairement aux trous

Utiliser une source étendue dans la direction des franges, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe des trous, est bénéfique, car cela augmente la luminosité de la figure d'interférences en préservant le contraste des franges.

II.2.c) Fentes d'Young

Quelle que soit la situation, on a vu que la différence de marche $\delta(M)$ est indépendante de y . On peut donc élargir les trous d'Young dans cette direction sans modifier sensiblement la figure d'interférences.

♥ À retenir – Intérêt des Fentes d'Young

Utiliser des fentes d'Young parallèles et parallèles aux franges d'interférence, à la place de trous d'Young permet d'augmenter la luminosité de la figure d'interférences, sans perdre en contraste.

II.3 Élargissement parallèle à l'axe des trous

📄 Voir l'animation : <https://xyod.github.io/anim-ophy/Young/>

II.3.a) Effet de la translation de la source ponctuelle

🍃 Démonstration à maîtriser n°4 – Source translatée parallèlement à (T_1T_2)

On considère le même système des trous d'Young que précédemment, mais maintenant éclairés par une source ponctuelle S' , translatée selon l'axe des trous, située à l'abscisse $X \neq 0$.

Les distances d et D sont très grandes devant la longueur d'onde λ , l'écart entre les trous a , et les abscisses x , X .

Q1. Établir l'expression de la différence de marche au point M en fonction de X , d , D , x et a .

Q2. Exprimer l'intensité lumineuse $I(M)$ sur l'écran.

Q3. Décrire la figure d'interférence.

Comparer les figures d'interférence observées quand le point source S est sur l'axe (Oz) (soit $X = 0$) et quand il est hors de l'axe.

II.3.b) Trous d'Young éclairés par les deux sources S et S' , avec $(SS') \parallel (T_1 T_2)$

On éclaire maintenant les trous avec les deux sources ponctuelles monochromatiques S et S' qui sont incohérentes entre elles : l'intensité à l'écran est donc la somme des intensités liées à chaque source.

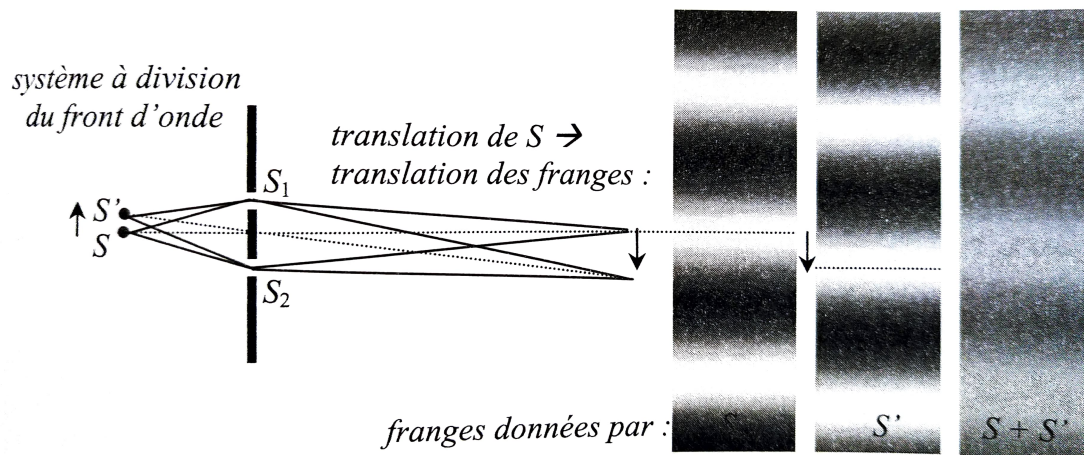


FIGURE 5 – Figure d'interférences pour deux trous d'Young éclairés par les deux sources S et S' , avec $(SS') \parallel (T_1 T_2)$ (D'après *Physique PC-PC*, Ellipses*).

La superposition des deux figures d'interférences entraîne une diminution du contraste : sur tout l'écran, les franges sont moins visibles.

Il y a **BROUILLAGE TOTAL** de la figure d'interférences si les franges brillantes dues à la source S se superposent aux franges sombres dues à la source S' .

Attention –
« Brouillage total » ne signifie pas « Interférences destructives. »

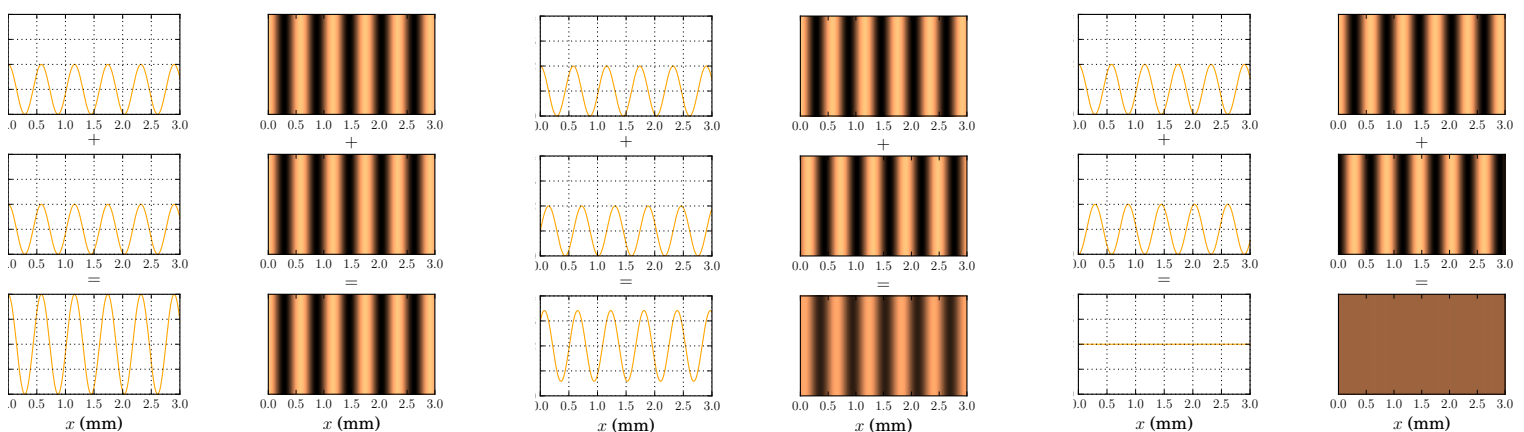


FIGURE 6 – Simulation de l'expérience des trous d'Young éclairés par deux sources ponctuelles décalées. La figure est réalisée pour $\lambda = 580 \text{ nm}$, $D = 1 \text{ m}$ et $a = 1 \text{ mm}$ (D'après www.etienne-thibierge.fr).

Démonstration à maîtriser n°5 – Valeur minimale de $|\Delta p|$ associée à un brouillage total
Quelle est la valeur minimale de $|\Delta p(M)| = |p_S(M) - p_{S'}(M)|$, variation de l'ordre d'interférence due au déplacement de la source, associée à un brouillage total ?

II.3.c) Source étendue $//(T_1T_2)$

On considère maintenant une fente source, infiniment fine dans la direction de l'axe (Oy) , et de largeur b dans la direction de (OX) , c'est-à-dire dans la direction de l'axe des trous. Elle est située entre $X = -\frac{b}{2}$ et $X = +\frac{b}{2}$. Elle peut être modélisée par la superposition continue de sources ponctuelles incohérentes.

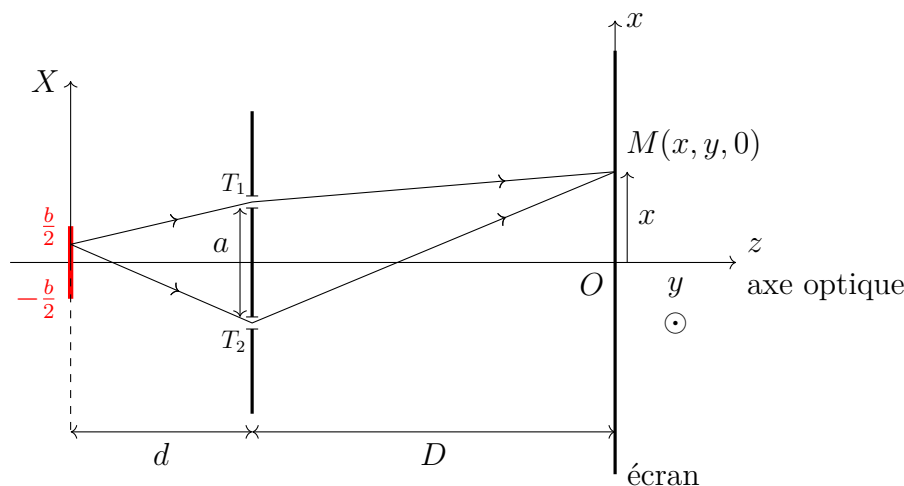


FIGURE 7 – Trous d'Young éclairés par une source élargie parallèlement à l'axe des trous

♥ À retenir – Critère semi-quantitatif de brouillage

On éclaire les trous d'Young avec une source monochromatique, de largeur b dans la direction parallèle à l'axe des trous, constituée d'un ensemble de sources ponctuelles incohérentes entre elles.

Il y a brouillage des franges dès lors que la différence d'ordre d'interférences entre les ondes issues du centre de la source et de ses extrémités est supérieure à $1/2$:

$$|\Delta p| = |p_{\text{ext}}(M) - p_{\text{centre}}(M)| > \frac{1}{2}$$

🍃 Activité n°6 –

Q1. En déduire que la largeur maximale b_{max} de la source pour que les franges soient visibles s'exprime selon

$$b_{\text{max}} = \frac{\lambda_0 d}{a}.$$

Q2. Faire l'application numérique avec un LASER rouge, pour $d = 20 \text{ cm}$ et $a = 600 \text{ }\mu\text{m}$.

♥ À retenir – Cohérence spatiale

Utiliser une source étendue, perpendiculairement aux franges, dans la direction parallèle à l'axe des trous, permet d'augmenter la luminosité de la figure d'interférences, mais au prix d'une diminution du contraste.

La taille maximale b_{max} de la source au-delà de laquelle il y a brouillage de la figure d'interférences est appelée **LONGUEUR DE COHÉRENCE SPATIALE**.

- Si la source a une taille $b \ll b_{\text{max}}$ alors la figure d'interférences est proche de celle obtenue avec une source ponctuelle.
- Sinon, les interférences sont brouillées : l'écran est quasiment uniformément éclairé.

⚠ Attention – « Brouillage total » ne signifie pas « Interférences destructives. »

III Source ponctuelle et polychromatique – Cohérence TEMPORELLE

On étudie à nouveau le système des trous d'Young éclairés par une **source ponctuelle (située sur l'axe) non monochromatique**.

On rappelle que :

- l'ordre d'interférence en M vaut : $p = \frac{ax}{\lambda_0 D}$
- l'interfrange vaut : $i = \frac{\lambda_0 D}{a}$

Ainsi, **modifier la longueur d'onde modifie l'interfrange**.

III.1 Trous d'Young éclairés par deux raies monochromatique

Nous étudions les trous d'Young éclairés par un doublet : le spectre de la source contient deux radiations monochromatiques de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 proches, c'est-à-dire d'écart faible devant leurs valeurs.

Exemple 1.

Doublet jaune du Sodium : $\lambda_1 = 589 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$

Doublet jaune du Mercure : $\lambda_1 = 577 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 579,1 \text{ nm}$

Activité n°7 – Intensité résultante

Pour le doublet, on définit la longueur d'onde moyenne $\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ et la largeur du doublet $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, avec $\Delta\lambda \ll \lambda_m$. On peut écrire $\lambda_1 = \lambda_m - \frac{\Delta\lambda}{2}$ et $\lambda_2 = \lambda_m + \frac{\Delta\lambda}{2}$.

Q1. Les deux sources monochromatiques sont-elles cohérentes ? Comment s'exprime alors l'intensité totale ?

Q2. En utilisant la formule de trigonométrie $\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$ et le fait que $\Delta\lambda \ll \lambda_m$, montrer que l'intensité s'écrit

$$I(M) = 2I_0 \left[1 + C(x) \cos \left(\frac{2\pi x}{i} \right) \right]$$

Identifier les expression de $C(x)$ et de i .

Interpréter.

Q3. Déterminer la position des brouillages et la distance qui sépare deux brouillages consécutifs. Exprimer le nombre de franges lumineuses visibles entre deux brouillages successifs.

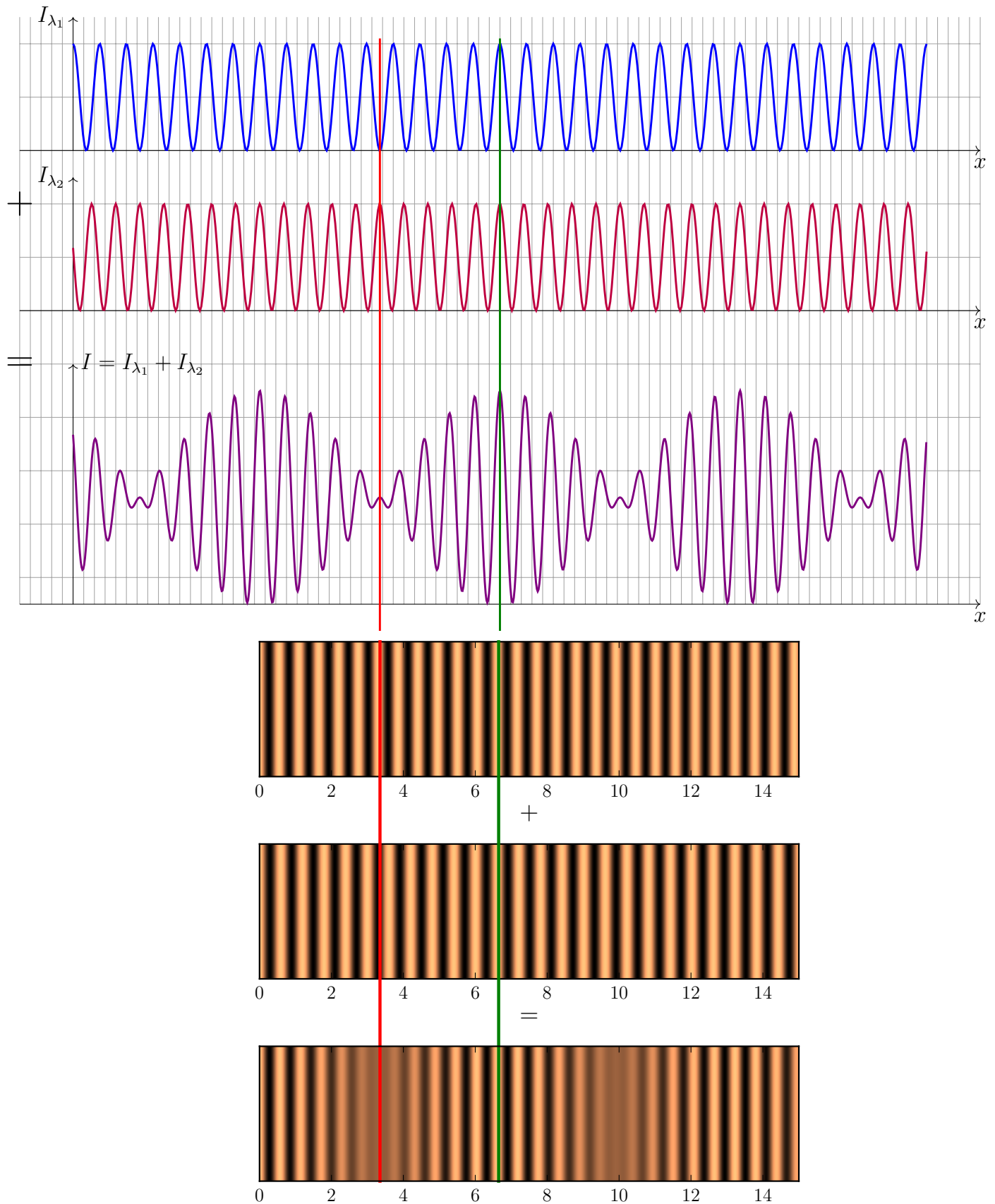


FIGURE 8 – Simulation de l'expérience des fentes d'Young éclairées par un doublet spectral. La figure est réalisée pour $\lambda_1 = 550$ nm, $\lambda_2 = 600$ nm, $D = 1$ m et $a = 1$ mm (D'après www.etienne-thibierge.fr).

Les figures d'interférence correspondant aux deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 ont des interfranges différents.

- Dans les zones où les deux figures d'interférences coïncident localement, le contraste est bon.
- Dans les zones où les franges claires de l'une correspondent aux franges sombres de l'autre (zone d'anticoïn-

cidence), le contraste est très faible.

⚠ Attention –

L'extension spatiale de la source entraîne une perte de contraste globale, uniforme sur toute la figure d'interférences. Au contraire, l'**extension spectrale entraîne une modulation du contraste, qui n'est pas uniforme.**

♥ À retenir –

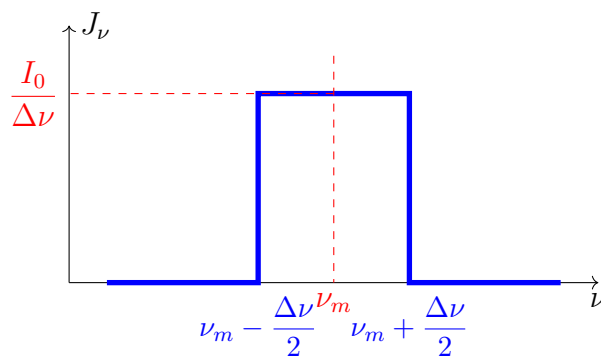
Le contraste de la figure d'interférence obtenue sur l'écran avec un doublet spectral est périodique. Il s'annule aux endroits où les franges constructives dues à une radiation du doublet coïncident avec les franges destructives dues à l'autre radiation.

III.2 Trous d'Young éclairés par une raie spectrale rectangulaire

On éclaire maintenant les trous d'Young avec une raie spectrale centrée sur λ_m et de largeur $\Delta\lambda$: le spectre d'émission est continu restreint à l'intervalle $\left[\lambda_m - \frac{\Delta\lambda}{2}, \lambda_m + \frac{\Delta\lambda}{2}\right]$.

On suppose l'émission uniforme sur l'intervalle de fréquence. I_0 représente l'intensité totale émise par la source : $I_0 =$

$$\int_{\nu_m - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_m + \frac{\Delta\nu}{2}} J_\nu d\nu = J_\nu \Delta\nu.$$



🌿 Démonstration à maîtriser n°8 –

- Q1. Exprimer en un point M de la figure l'ordre d'interférence associé à la longueur d'onde maximale $\lambda_{\max}$ et celui associé à la longueur d'onde moyenne λ_m .
- Q2. Exprimer la variation $\Delta p(M) = p_{\lambda_m}(M) - p_{\lambda_{\max}}(M)$.
- Q3. Quelle est la valeur minimale de $\Delta p(M)$ associée à un brouillage des franges en M ?
- Q4. En supposant la raie telle que $\Delta\lambda \ll \lambda_m$, déterminer la condition sur la différence de marche en M pour que les interférences soient visibles (pas brouillées) en fonction de $\Delta\lambda$ et λ_m .

♥ À retenir – Critère semi-quantitatif de brouillage

La figure d'interférences formée par une source ponctuelle à spectre continu est considérée comme brouillée en un point M si la différence d'ordre d'interférences entre la longueur d'onde centrale λ_m et les longueurs d'onde extrêmes $\lambda_{\min/\max}$ y est supérieure à $1/2$:

$$\Delta p(M) = p_{\lambda_m}(M) - p_{\lambda_{\min/\max}}(M) > \frac{1}{2}$$

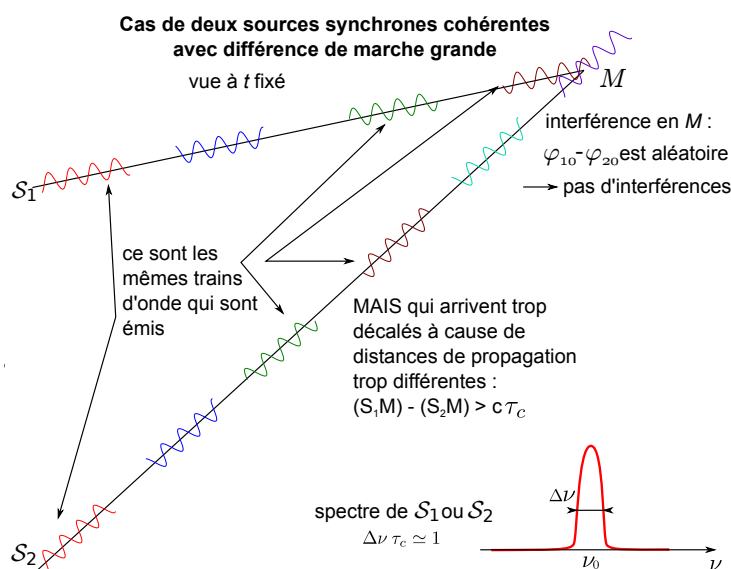
♥ À retenir – Cohérence temporelle et brouillage

La figure d'interférence obtenue avec une source à spectre continu présente un **brouillage aux positions M pour lesquelles la différence de marche est supérieure à la longueur de cohérence temporelle de la source :**

$$|\delta(M)| > L_c = \frac{\lambda_m^2}{\Delta\lambda}$$

La condition de cohérence temporelle s'interprète ainsi : la différence de chemin optique $\delta(M)$ entre les trajets parcourus par les rayons qui viennent interférer en M doit être inférieure à la longueur du train d'onde émis. Avec une source ponctuelle S et non monochromatique, pour qu'il y ait interférences en M , il faut que les deux parties du train d'onde émis par S de durée τ_c , se recouvrent en M . L'écart de temps mis par les deux ondes se recouvrant en M doit être inférieur à τ_c : $\Delta t < \tau_c \Leftrightarrow \frac{\delta(M)}{c} < \tau_c \Leftrightarrow \delta(M) < c\tau_c$

S'il n'en était pas ainsi, ce sont des ondes appartenant à des trains d'ondes différents qui interféreraient en M . Or d'un train d'onde à l'autre, la phase varie de façon aléatoire ; les phénomènes d'interférence se brouilleraient donc.



www.mmelzani.fr

FIGURE 9 – Conséquence de l'extension spectrale de la source

♥ À retenir – Interprétation avec les trains d'onde

Il y a brouillage à partir du moment où la différence de marche est trop grande pour qu'un train d'ondes puisse se superposer avec lui-même.

Activité n°9 – Quelques valeurs numériques

On donne pour les sources classiques, la longueur d'onde moyenne λ_m et la largeur $\Delta\lambda$.

Source	λ_m	$\Delta\lambda$	$\Delta\nu$	τ_c	L_c	$x_{\max}$
Laser He-Ne	632,8 nm	1 pm	$7,5 \cdot 10^8$ Hz	$1,3 \cdot 10^{-9}$ s	40 cm	400 m
Lampe à mercure	546,1 nm	10 pm	$1,0 \cdot 10^{10}$ Hz	$9,9 \cdot 10^{-11}$ s	3 cm	30 m
Lampe à filament, soleil	600 nm	400 nm	$3,3 \cdot 10^{14}$ Hz	$9,9 \cdot 10^{-15}$ s	0,9 μ m	0,9 mm

Q1. Pour des trous d'Young $a = 1$ mm et $D = 1$ m, déterminer l'expression la position $x_{\max}$ du premier brouillage pour les différentes sources.

Q2. Commenter les valeurs du tableau.

Remarques – Expression de l'intensité résultante (cf TD)

On découpe la raie rectangulaire en radiations quasi-monochromatiques de largeur infinitésimale $d\nu$ et d'intensité $J_\nu d\nu = \frac{I_0}{\Delta\nu} d\nu$. Elles ne sont pas synchrones et ne sont donc pas cohérentes. L'intensité en M est donc la somme des intensités dues à chaque radiation :

$$\begin{aligned}
 I(M) &= \int_{\nu_m - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_m + \frac{\Delta\nu}{2}} dI_\nu \\
 I(M) &\stackrel{\text{Fresnel}}{=} \int_{\nu_m - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_m + \frac{\Delta\nu}{2}} 2J_\nu d\nu \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \delta(M) \right) \right) \\
 &= \int_{\nu_m - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_m + \frac{\Delta\nu}{2}} 2 \frac{I_0}{\Delta\nu} \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi\nu}{c} \delta(M) \right) \right) d\nu \\
 &\quad \text{intégration + trigonométrie} \\
 &= 2I_0 \left[1 + \frac{c}{\pi\delta\Delta\nu} \sin \left(\frac{\pi\delta\Delta\nu}{c} \right) \cos \left(\frac{2\pi\delta\nu_m}{c} \right) \right] \\
 &= 2I_0 \left[1 + \underbrace{\frac{c}{\pi\delta\Delta\nu} \sin \left(\frac{\pi\delta\Delta\nu}{c} \right)}_{\text{contraste}} \underbrace{\cos \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_m} \right)}_{\text{interférences}} \right]
 \end{aligned}$$

Le contraste est maximal en M tel que $\delta(M) = 0$. Il s'annule en $\frac{\pi\delta\Delta\nu}{c} = m\pi$ avec $m \in \mathbb{Z}^*$, soit $\delta(M) = m \frac{c}{\Delta\nu}$. Il diminue quand on s'éloigne de $\delta = 0$.

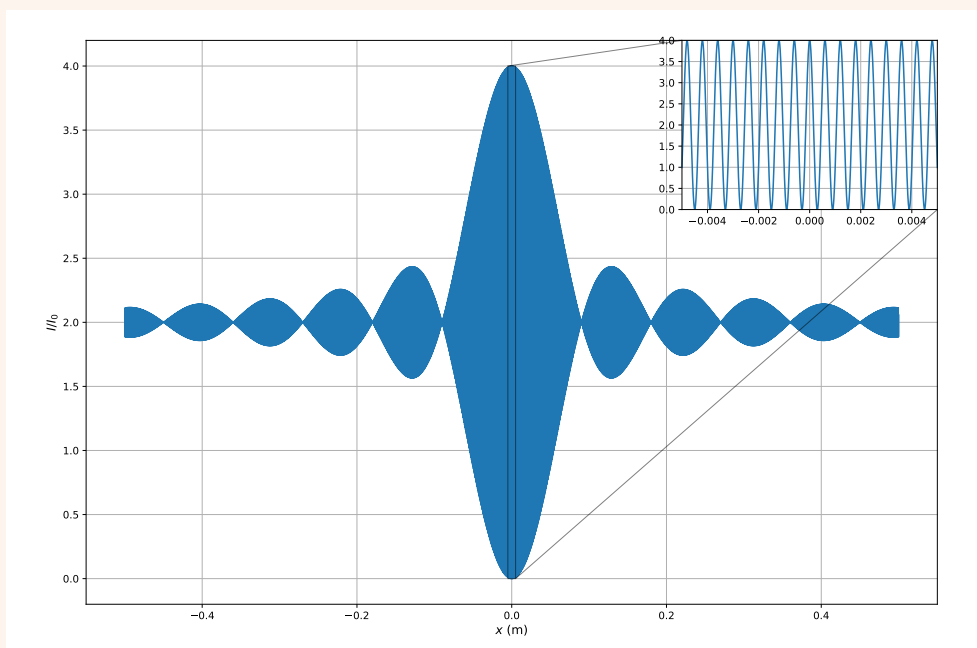


FIGURE 10 – I/I_0 en fonction de δ pour $\lambda_m = 600$ nm et $\Delta\lambda = 4$ nm. La longueur de cohérence vaut $\ell_c = 90$ μm . L'encart correspond à l'intervalle $[-\ell_c/10, \ell_c/10]$.

III.3 En lumière blanche

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/frangcol.html>

La figure d'interférence obtenue avec les trous d'Young éclairés en lumière blanche est la suivante (Figure 11).

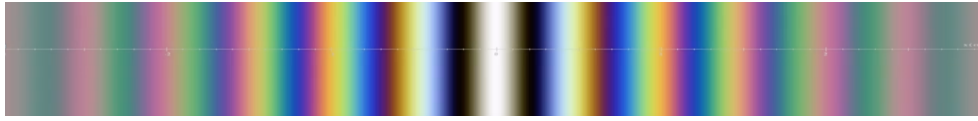


FIGURE 11 – Figure d'interférence de trous d'Young éclairés en lumière blanche



FIGURE 12 – Figures d'interférence pour différentes radiations

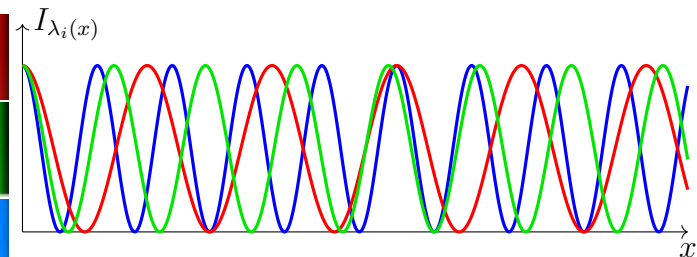


FIGURE 13 – Allure de l'intensité lumineuse des trous d'Young éclairée en lumière blanche. On néglige la cohérence temporelle de chaque raie.

Pour simplifier, reportons nous à la figure 13 représentant trois ondes monochromatiques rouge, verte et bleu.

- Au centre de la figure, la différence de marche est nulle, donc pour toutes les longueurs d'onde il se produit une interférence constructive, on observe une **frange blanche**.
 - Près de la frange centrale, on observe une **irisation** de la figure d'interférence, que l'on appelle **teintes de Newton**.
 - Là où les interférences sont destructives pour R et V : on observe une teinte bleue.
 - Là où les interférences sont destructives pour R : on observe une teinte cyan (= V + B).
 - Là où les interférences sont destructives pour B : on observe une teinte jaune (= R + V).
 - Plus on s'éloigne du centre, plus les différentes figures se séparent, puisqu'elles n'ont pas la même périodicité spatiale, car les radiations sont de longueurs d'onde différente.
 - En s'éloignant de la frange centrale, il y a brouillage des franges car le critère $\delta(M) < L_c$ n'est plus vérifié. Le nombre de longueurs d'onde correspondant à des interférences destructives augmente avec la différence de marche.
- Or, notre vision trichromatique ne nous permet pas de percevoir de teinte franche si le spectre contient des parts de rouge, de vert et de bleu relativement équilibrées. On perçoit une **teinte blanche**, mais qui n'est pas un blanc pur, car il manque des longueurs d'onde : on parle de **blanc d'ordre supérieur**.

En regardant le spectre du blanc d'ordre supérieur, on observe des raies noires, ce sont les longueurs d'ondes en interférences destructives.

Le spectre n'est pas continu : on l'appelle **v**, comme visualisé figure 14.

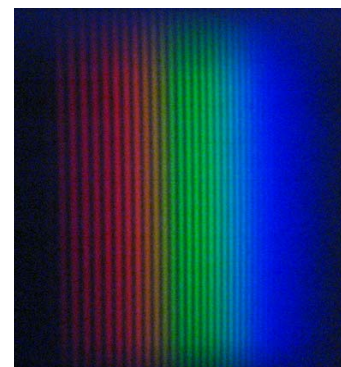


FIGURE 14 – Spectre du blanc d'ordre supérieur

Démonstration à maîtriser n°10 –

Q1. Déterminer l'expression des longueurs d'onde des cannelures en un point M donné de l'écran.

Q2. Si $\delta = 5 \mu\text{m}$, déterminer toutes les valeurs de λ_m . On pourra commencer par déterminer les valeurs possibles de $m + \frac{1}{2}$.

IV Effet de la diffraction

IV.1 Diffraction ?

La **diffraction** est la signature de la nature ondulatoire d'un phénomène : elle correspond à l'**étalement d'une onde dans l'espace dû à son passage au travers d'un obstacle ou un diaphragme**.

Soit une onde de nature quelconque de longueur d'onde λ_0 traversant un obstacle de dimension d proche de λ_0 (jusqu'à $100 \times \lambda_0$), lorsque l'observation se fait suffisamment loin de l'objet diffractant, on obtient une figure de diffraction dont le demi-angle d'ouverture θ vérifie :

$$\sin(\theta) \approx \frac{\lambda_0}{d}$$

IV.2 Trous d'Young

UN trou : diffraction

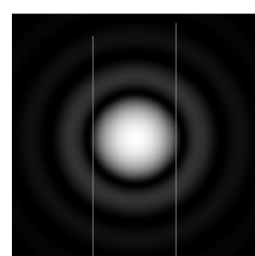
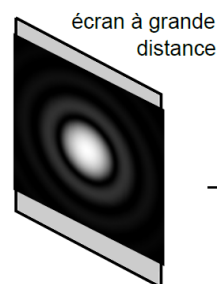
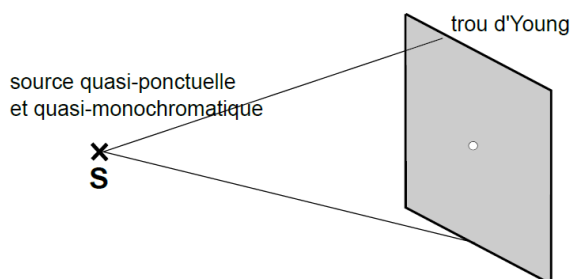
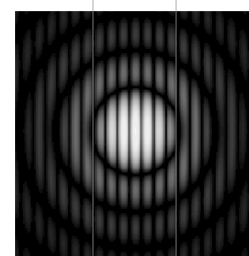
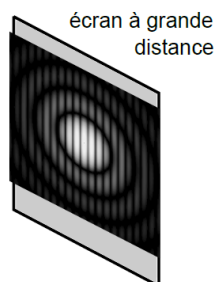
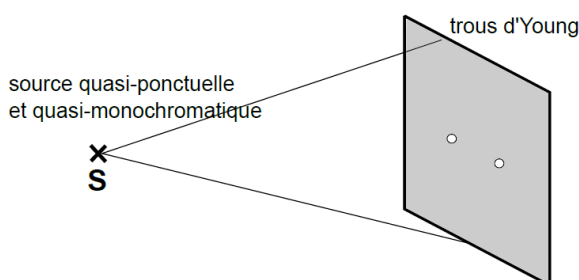


Figure de diffraction

DEUX trous : diffraction + interférences



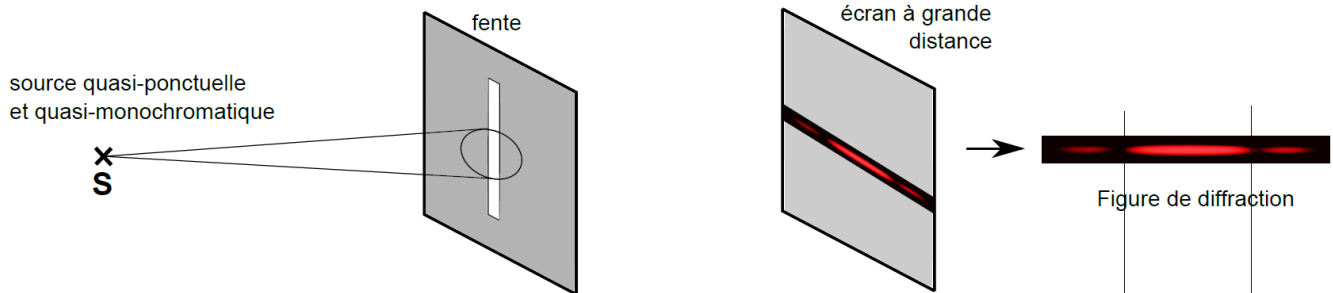
Dans la figure de diffraction produite par un trou, on voit des interférences

FIGURE 15 – Interférence et diffraction avec les trous circulaires (D'après www.mmelzani.fr)

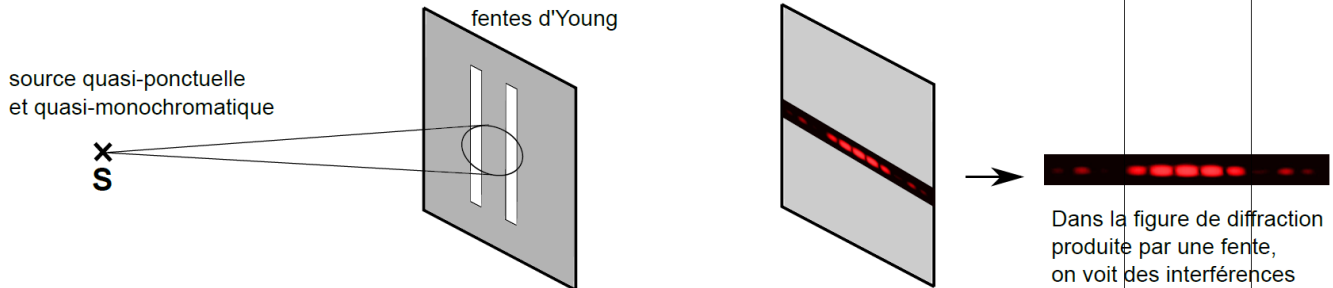
La figure d'interférence se forme à l'intérieur de la figure de diffraction.

IV.3 Fentes d'Young

UNE fente : diffraction



DEUX fentes : diffraction + interférences



DEUX fentes : diffraction + interférences, éclaircissement large des fentes fentes d'Young

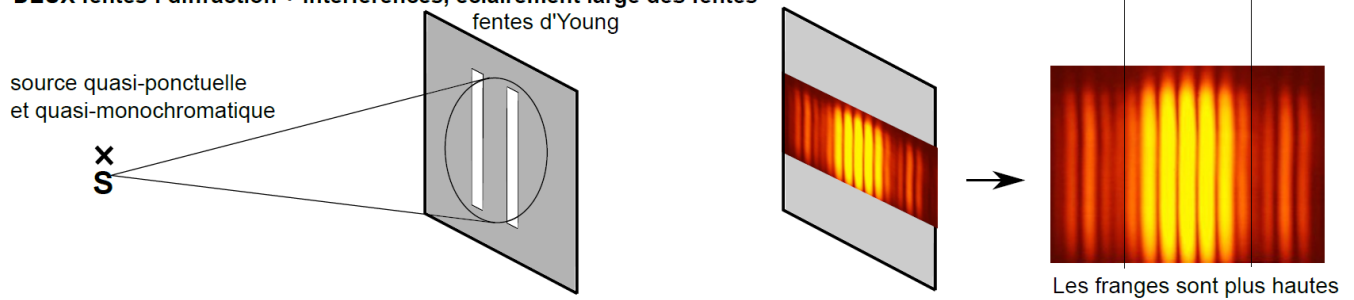


FIGURE 16 – Interférence et diffraction avec les fentes rectilignes (D'après www.mmelzani.fr)

La tache de diffraction doit être suffisamment large pour qu'on puisse y voir la figure d'interférences. Il faut donc que les fentes ne soient pas trop larges.