

## Interférences à deux ondes - Trous d'Young

### Table des matières

<b>I Présentation du dispositif</b>	<b>1</b>
<b>II Figure d'interférence</b>	<b>3</b>
II.1 Expression de l'éclairement . . . . .	3
II.2 Calcul de la différence de marche $\delta$ . . . . .	4
II.3 Figure d'interférences . . . . .	5
II.4 Interfrange . . . . .	6
II.5 Contraste . . . . .	7
<b>III Facteurs limitant le contraste des interférences - notions de cohérence temporelle et spatiale</b>	<b>8</b>
III.1 Expérience introductive . . . . .	8
III.2 Cohérence spatiale : influence de l'étendue de la source . . . . .	8
III.3 Cohérence temporelle : influence du caractère non monochromatique de la source . . . . .	12

### Introduction

On s'intéresse ici à un interféromètre à deux ondes à division du front d'onde : le dispositif des trous d'Young, déjà évoqué en MPSI.

### I Présentation du dispositif

On considère une source  $S$  ponctuelle et monochromatique, de longueur d'onde  $\lambda$ . On interpose devant cette source un écran dans lequel on a percé deux trous de rayon  $r$  très petit devant  $\lambda$ , distants d'une longueur  $a$ , et placés à équidistance de la source  $S$ .

Si  $r \sim \lambda$ , les trous se comportent comme des sources ponctuelles (voir remarque ci-dessous)  $S_1$  et  $S_2$  de même longueur d'onde  $\lambda$ , donc *mutuellement cohérentes* (synchrones et en phase) puisqu'elles résultent d'ondes émises par la même source primaire  $S$ .

On observe la répartition d'intensité sur un écran parallèle au précédent, et placé à une distance  $D$  très grande devant la distance entre les trous  $a$  ( $D \gg a$ ). On repèrera le point  $M$  par ses coordonnées  $x$  et  $y$  comme le montre la figure ci-dessous.

Remarque

- La direction des deux points sources étant parallèle à l'écran, on s'attend à observer des franges d'hyperboles sur l'écran.
- Lorsque l'on masque l'un des trous, les franges disparaissent.
- Plus les sources secondaires sont proches les unes des autres, plus les franges sont larges.
- Retour sur le rôle de source secondaire des trous  $S_1$  et  $S_2$  :

*On peut s'en convaincre facilement par analogie avec les ondes à la surface de l'eau, présentées sur une figure antérieure. Attention, les rayons qui vont des sources secondaires jusqu'au point  $M$  ne sont pas les mêmes que les rayons incidents, comme ce serait le cas avec une lentille.*

- On peut retrouver un phénomène analogue avec le phénomène de moiré, comme en atteste la figure ci-dessous<sup>a</sup>.

---

<sup>a</sup>. Le phénomène de moiré est statique, mais il permet parfaitement d'interpréter les franges d'interférences produites par deux points sources. En optique, si des détecteurs étaient suffisamment rapides, nous pourrions observer (comme dans une cuve à onde) des zones pour lesquelles les oscillations du champ sont maximales, et des zones pour lesquelles les oscillations sont nulles à toute instant. Cependant, en optique, les détecteurs, et l'œil en particulier, ne sont pas sensible aux variations trop rapides du champ électrique, mais à l'énergie, et donc à la valeur moyenne de  $E^2$ , de sorte que les zones d'amplitude maximales apparaissent comme lumineuses et les autres comme des zones sombres.

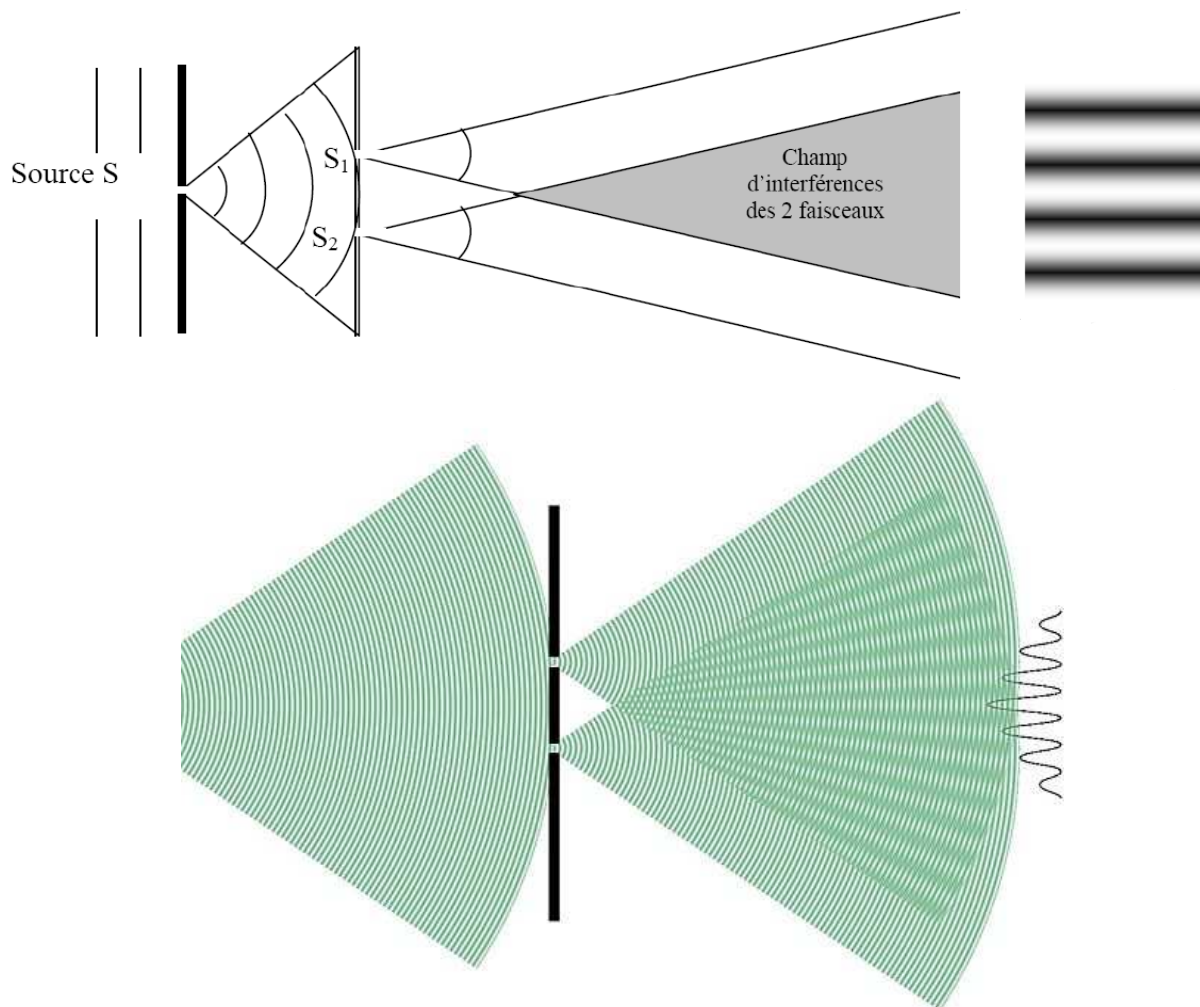


FIGURE 1 – *Champ d'interférences pour le dispositif des trous d'Young. Interprétation à l'aide du phénomène de moiré.*

## II Figure d'interférence

### II.1 Expression de l'éclairement

**II.2 Calcul de la différence de marche  $\delta$** 

$\alpha)$  Cas d'un écran à distance finie, avec  $a \ll D$ ,  $x \ll D$  et  $y \ll D$

*β) Cas d'un écran "à l'infini"*

Afin d'améliorer la luminosité des franges, on ajoute en général une lentille convergente entre les sources secondaires et l'écran. Comme le montre la figure ci-dessous, on place l'écran au plan focal image de la lentille, de sorte que les rayons qui interfèrent en un point  $M$  donné de l'écran sont tous parallèles avant la lentille. On notera qu'en l'absence de lentille, ces mêmes rayons interféreraient à l'infini, respectant ainsi parfaitement l'approximation  $D \gg a$ .

Afin de calculer la différence de marche entre les deux rayons provenant des sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$ , on peut utiliser le *principe de retour inverse de la lumière*. En effet, une source placée en  $M$  produirait une onde plane après la lentille de sorte que, d'après le théorème de Malus, les points  $S_2$  et  $H$  seraient en phase. Ceci permet de montrer que  $(S_2M) = (HM)$ . On peut donc en déduire simplement la valeur de la différence de marche :

### II.3 Figure d'interférences

La figure d'interférences correspond donc à des **franges rectilignes perpendiculaires à la direction formée par les trous**<sup>1</sup>, dont on donne la représentation ci-dessous<sup>2</sup>.

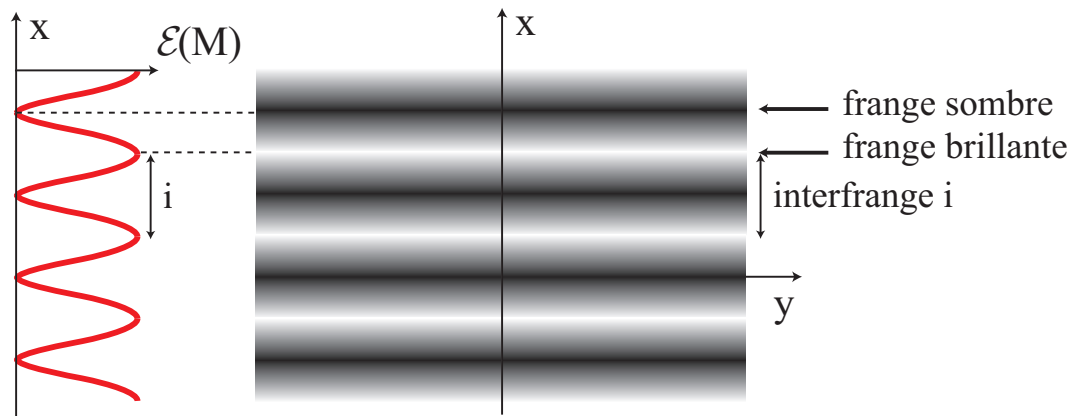


FIGURE 2 – Figure d'interférences pour le dispositif des trous d'Young.

#### Remarque

**Conservation de l'énergie** : si on intègre l'éclairement total selon la direction ( $Ox$ ) perpendiculaire aux franges, on retrouve bien la somme des intensités provenant individuellement de  $S_1$  et de  $S_2$ . En d'autres termes, les interférences ne modifient pas l'éclairement moyen mais seulement la répartition de l'éclairement. L'énergie est donc bien conservée.

## II.4 Interfrange

### Définition

On définit l'interfrange<sup>a</sup>  $i$  comme la période spatiale de la figure d'interférence, c'est à dire la distance minimale séparant deux franges de même nature (brillantes ou sombres).

<sup>a</sup>. On notera que c'est un nom masculin.

#### Remarque

- Comme précédemment avec l'expérience des moirés, l'interfrange est une fonction décroissante de  $a$  : plus les trous sont proches, plus l'interfrange est élevé.
- De plus, on notera, en s'appuyant à nouveau sur l'exemple des moirés, que les interférences sont **non localisées** lorsque les deux sources sont ponctuelles.

1. Ce sont donc des franges horizontales dans le cas de la figure.

2. Attention, on ne peut surtout pas en déduire que par invariance selon  $y$ , on peut remplacer les trous  $S_1$  et  $S_2$  par des fentes, car c'est faux : expérimentalement, en faisant l'expérience avec des fentes verticales, on n'obtient qu'un fin pinceau lumineux horizontal à cause de l'absence de diffraction selon la direction verticale des fentes. Avec des trous très petits, on devrait bien obtenir la figure proposée grâce à la diffraction dans la direction perpendiculaire à l'axe formé par les deux trous.

Exemple : Soient deux trous d'Young séparés d'une distance  $a = 0.3 \text{ mm} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$  et éclairés par un laser hélium-néon. Déterminer la longueur d'onde  $\lambda_0$  du laser sachant qu'on mesure un interfrange  $i = 6.3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$  sur un écran situé à une distance  $D = 3 \text{ m} \pm 5 \text{ cm}$  des trous.

### Remarque

|| C'est en utilisant ce dispositif que Young (sans laser!), en 1810, en mesurant des interfranges, a déterminé pour la première fois des longueurs d'onde optiques.

## II.5 Contraste

### Définition

On rappelle qu'on définit le contraste des franges interférences de la façon suivante dans le cas général <sup>a</sup> :

$$C = \frac{\mathcal{E}_{max} - \mathcal{E}_{min}}{\mathcal{E}_{max} + \mathcal{E}_{min}}$$

a. On notera que lorsque le signal présente à la fois une variation spatiale lente et une variation spatiale rapide, le contraste est défini localement et peut dépendre de la position sur l'écran (cf influence du caractère non monochromatique de la source).

Dans le cas présent,  $\begin{cases} \mathcal{E}_{min} = 0 \\ \mathcal{E}_{max} = 4\mathcal{E}_0 \end{cases}$  et le contraste est donc égal à 1.

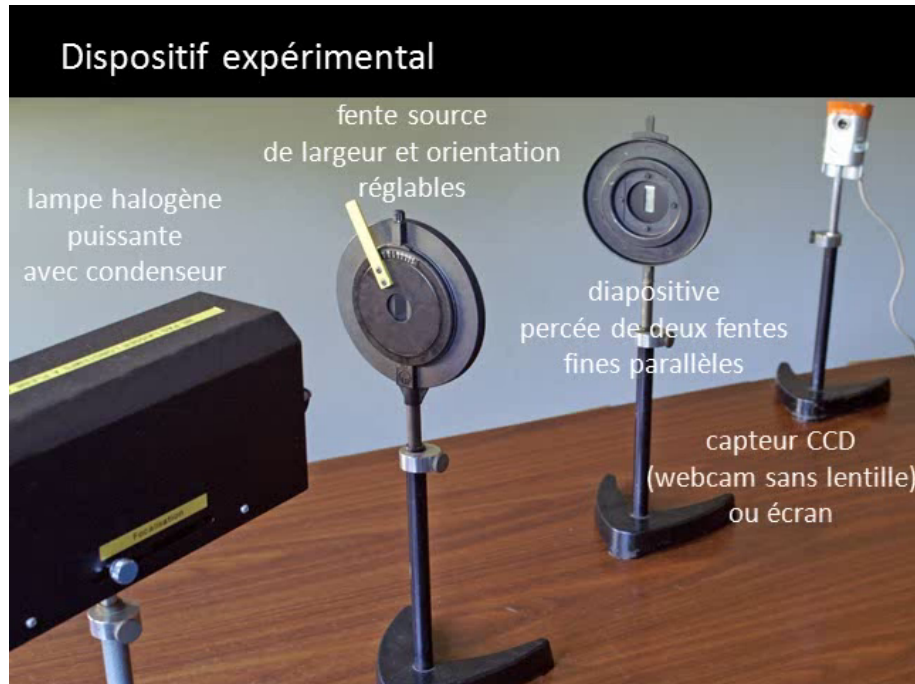
Ceci correspond au cas idéal. Le cas où  $C = 0$  correspond au cas d'un éclairage uniforme. Le contraste est donc compris entre 0 et 1.

Transition : Nous allons maintenant voir ce qui peut diminuer le contraste des interférences.

### III Facteurs limitant le contraste des interférences - notions de cohérence temporelle et spatiale

#### III.1 Expérience introductive

Lorsqu'on cherche à reproduire l'expérience d'Young en pratique, on est confronté à plusieurs difficultés. La première est que l'utilisation de trous ne conduit pas à une figure suffisamment lumineuse. Nous montrerons donc qu'il est nécessaire d'utiliser des fentes, à la fois pour la source primaire et pour les sources secondaires (cf figure ci-dessous).



On constate par ailleurs (cf vidéo sur le site) que :

- le contraste diminue lorsqu'on élargit progressivement la largeur de la fente source. C'est donc que plus la source est étendue, plus le contraste diminue.
- le nombre de franges visibles est moins important lorsque les fentes sont éclairées avec une source de lumière blanche, que lorsque l'on rajoute un filtre vert devant la source. On en déduit donc que lorsque le spectre de la source est plus large, c'est à dire lorsque la source est "moins monochromatique", le contraste diminue.

#### Propriété

Deux facteurs principaux peuvent limiter le contraste :

- Le caractère non ponctuel de la source (on parle alors de source étendue).
- Le caractère non monochromatique de la source  $S$ .

On notera que le contraste diminue également lorsque les deux sources ne sont plus de même intensité.

Nous allons étudier successivement ces deux facteurs.

#### III.2 Cohérence spatiale : influence de l'étendue de la source

Afin de comprendre l'influence de la taille de la source, il suffit d'étudier les variations de la figure d'interférence lorsqu'on déplace la position du point source  $S$ . On pourra ensuite sommer les différentes contributions de chacun des points afin d'obtenir la contribution d'une source étendue car les ondes émises par chacun des points sont **incohérentes** (en effet, il n'existe pas de relation de phase entre les différents points car les processus d'émission sont aléatoires).



$\alpha)$  Déplacement de la source suivant l'axe perpendiculaire aux trous

Dans ce cas, les ondes issues de la source primaire parvenant au niveau des trous ont toujours la même différence de marche, et la figure d'interférence est inchangée. On peut ainsi remplacer  $S$  par une fente parallèle à  $(Oy)$ . Les phénomènes d'interférences provenant des différents points de la source  $S$  se juxtaposent sans se brouiller et on obtient des phénomènes plus lumineux.

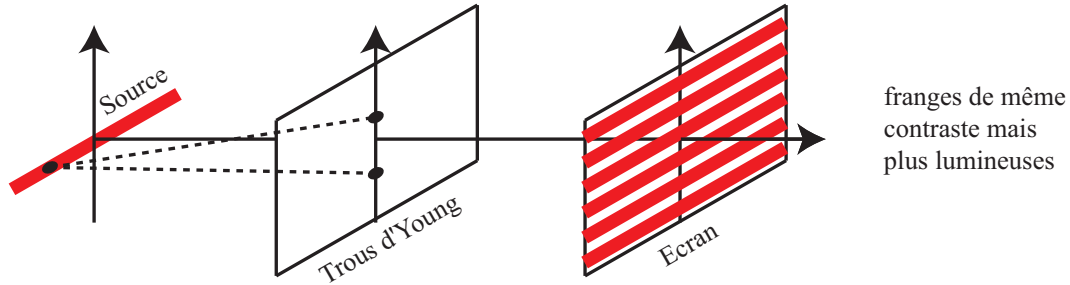


FIGURE 3 – Les phénomènes d'interférences provenant des différents points de la source  $S$  se juxtaposent sans se brouiller et l'on obtient des phénomènes plus lumineux.

### Propriété

**Augmenter la largeur de la source dans la direction orthogonale à l'alignement des trous ne modifie pas la répartition lumineuse sur l'écran et rend les franges plus lumineuses. On comprend ici l'utilisation d'une fente source dans le dispositif expérimental <sup>a</sup>.**

<sup>a</sup>. Justifier pourquoi il faut également utiliser des fentes comme sources secondaires est plus complexe et fait appel à la diffraction, comme nous le verrons dans l'exercice 1 du TD19.

$\beta)$  Déplacement de la source suivant l'axe parallèle aux trous

L'interfrange n'est pas modifié mais les franges se décalent.

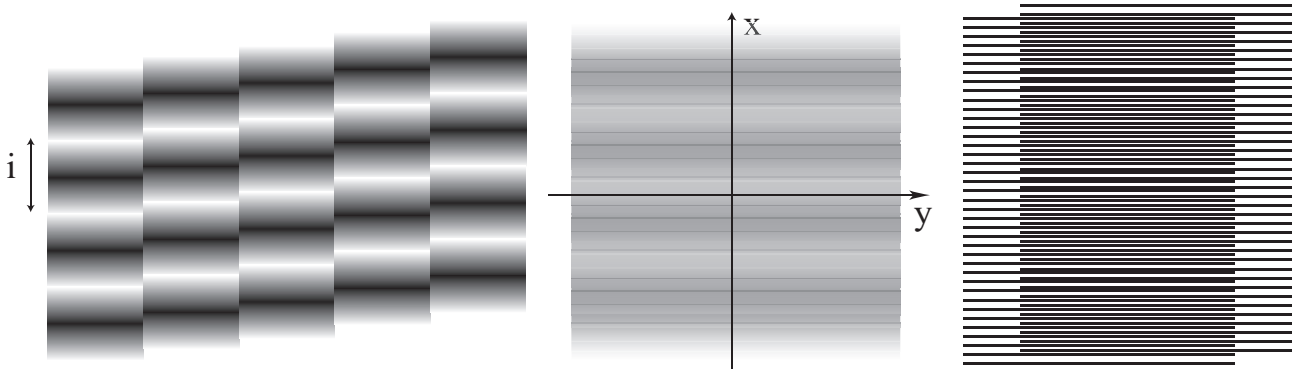


FIGURE 4 – Illustration du brouillage des franges avec une source spatialement étendue dans la direction de l'alignement des trous. Les systèmes de franges produits par chaque point source sont décalés les uns par rapport aux autres et entraîne un brouillage uniforme des franges bien que les interfranges soient identiques.

Avec une source étendue, chaque source élémentaire crée un système de franges décalé par rapport aux autres. Comme les sources sont **incohérentes** entre elles, **leurs intensités se somment**, ce qui entraîne un brouillage, comme l'illustre la figure 4.

### Propriété

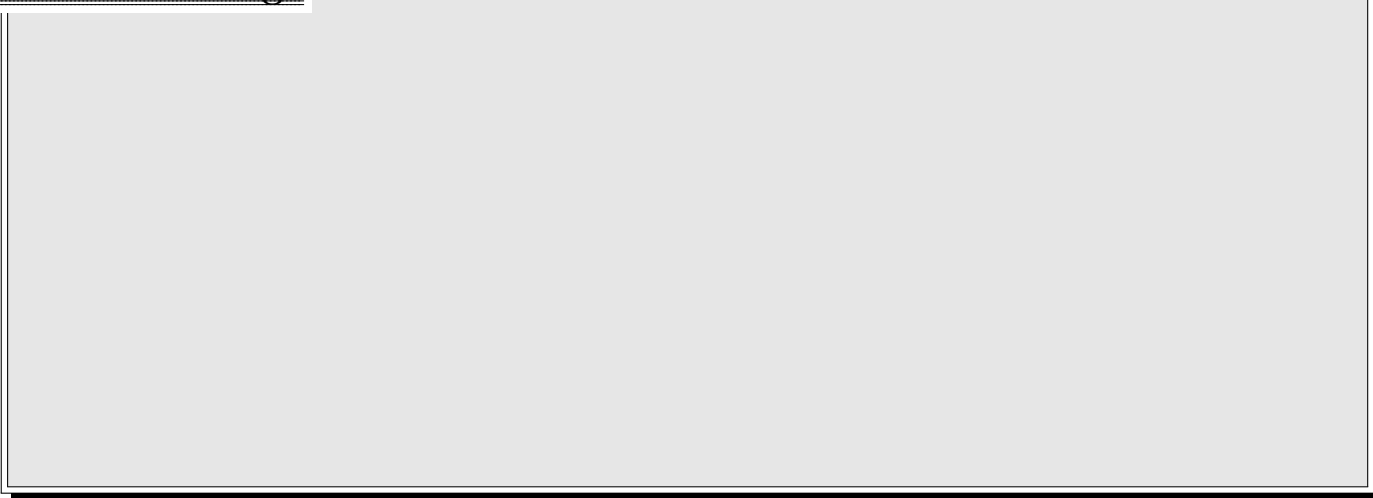
**Augmenter l'étendue spatiale de la source dans la direction de l'alignement des trous entraîne un brouillage des franges sur tout l'écran. Ce brouillage est dû ici à la superposition de franges d'interfranges identiques décalés les uns par rapport aux autres.**

#### $\gamma$ ) Critère de brouillage - cohérence spatiale

Considérons tout d'abord pour simplifier deux points distincts et donc incohérents  $A$  et  $B$  d'une fente source primaire monochromatique. On comprend aisément d'après ce qui précède que les points  $A$  et  $B$  vont donner lieu sur l'écran à deux réseaux de franges rectilignes décalées, mais de même couleur. Le brouillage sera maximal lorsque les franges brillantes (ordre d'interférence  $p_A$  entier) issues de  $A$  correspondent exactement à des franges sombres (ordre d'interférence  $p_B$  demi-entier), c'est à dire qu'il y a anti-coïncidence entre les systèmes d'interférences de  $A$  et  $B$ .

On peut en déduire le critère semi-quantitatif<sup>3</sup> ci-dessous. Il y aura brouillage si, à tout point  $A$  de la source, on peut trouver un point  $B$  incohérent de cette même source qui donne lieu à des phénomènes d'interférence en anti-coïncidence.

## Critère de brouillage



### Remarque

- *Lorsqu'il y a brouillage en un point, le brouillage est le même partout (cf illustration précédente). Le critère sur la taille de la source est donc valable pour tout point de l'écran, à la différence du critère spectral (cf plus loin) qui dépendra du point d'observation sur l'écran.*

*Transition* : D'après ce que nous venons de voir, pour des dispositifs à division du front d'onde comme les trous d'Young, l'utilisation d'une source étendue entraîne systématiquement le brouillage des interférences. C'est un inconvénient majeur si l'on veut réaliser des figures d'interférences lumineuses.

Nous verrons dans le chapitre sur l'interféromètre de Michelson que les dispositifs à division d'amplitude permettent, eux, d'utiliser des sources étendues tout en conservant un bon contraste.

Étudions maintenant le second facteur limitant le contraste des interférences dans l'expérience des trous d'Young. Nous supposerons de nouveau que la source primaire est ponctuelle de manière à ne pas prendre en compte la taille de la source.

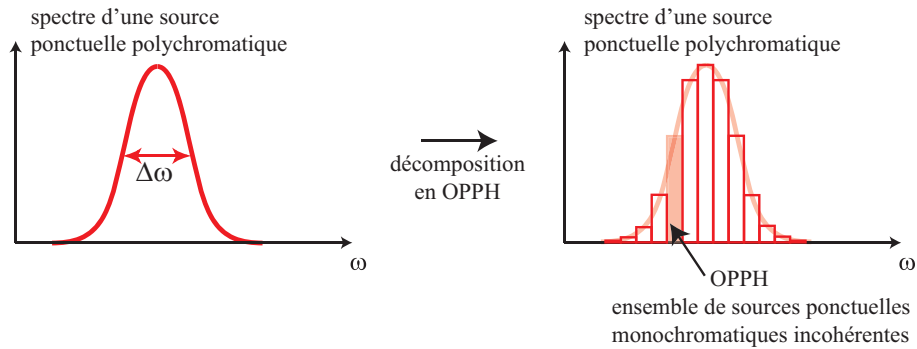
---

3. Nous ferons le calcul complet de l'influence de la taille de la source dans l'exercice 2 du TD 19.

### III.3 Cohérence temporelle : influence du caractère non monochromatique de la source

*α) Première approche qualitative*

Nous avons pour l'instant considéré que les trous d'Young étaient des sources monochromatiques et cohérentes. Cependant, nous savons que les sources réelles ont nécessairement une largeur spectrale non nulle  $\Delta\nu$ . On peut donc modéliser les sources réelles comme un ensemble de sources monochromatiques de fréquences différentes contenues dans la largeur  $\Delta\nu$  qui vont chacune donner leur propre système de franges.



Ces sources n'étant pas synchrones, elles ne vont pas interférer entre elles, et les éclaircissements produits s'ajoutent simplement.

Or nous avons montré que la figure d'interférences dépendait de  $\lambda$ , et donc de la fréquence  $\nu$  puisque et l'interfrange s'écrit :

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

Si la largeur spectrale de la source est importante, on comprend que les réseaux de franges ne coïncident pas et sont décalés les uns par rapport aux autres. On observe alors un **brouillage des franges** dont on donne une interprétation en terme de moirés ci-dessous.

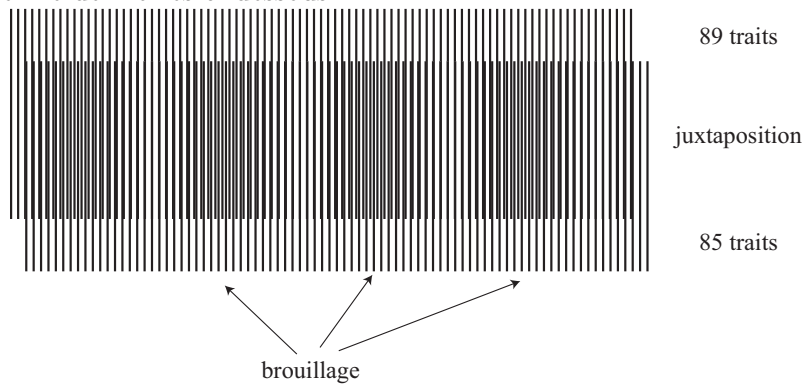
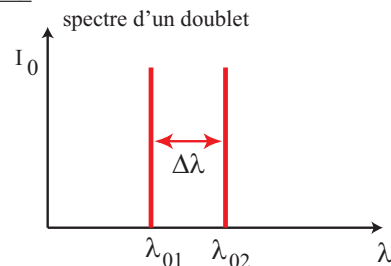


FIGURE 5 – Interprétation du brouillage des franges à cause du caractère non monochromatique de la source à l'aide du phénomène de moiré : deux systèmes de franges de périodicité légèrement différente sont en phase par endroit (zone contrastée) et en opposition de phase dans d'autres endroits (zone brouillée).

*β) Figure d'interférence créée par un doublet (ex : doublet du sodium)*

Considérons une source  $S$ , émettant deux radiations de même intensité mais de longueurs d'onde dans le vide  $\lambda_{01}$  et  $\lambda_{02} = \lambda_{01} + \Delta\lambda$  différentes, avec  $\Delta\lambda \ll \lambda_{01}$ . Deux trous d'Young sont éclairés par cette source et la figure d'interférences est observée sur un écran. On suppose que les deux voies de l'interféromètre sont équilibrées ( $I_1 = I_2 = I_0$ ).



Les ondes de longueurs d'onde  $\lambda_{01}$  et  $\lambda_{02}$  étant **incohérentes** entre elles, elles ne peuvent pas interférer et leurs intensités s'ajoutent. On observe donc la superposition de deux figures d'interférence, l'une associée à la longueur d'onde  $\lambda_{01}$  et l'autre associée à la longueur d'onde  $\lambda_{02}$ .

En supposant que la différence de marche ne dépende pas de la longueur d'onde, c'est à dire en négligeant tout phénomène dispersif, on obtient pour les deux sources incohérentes :

La figure ci-dessous représente l'intensité lumineuse en fonction de  $x$ , sachant que  $\delta = \frac{ax}{D}$  dans le cas du dispositif des trous d'Young. La figure d'interférences est représentée au-dessus de la courbe.

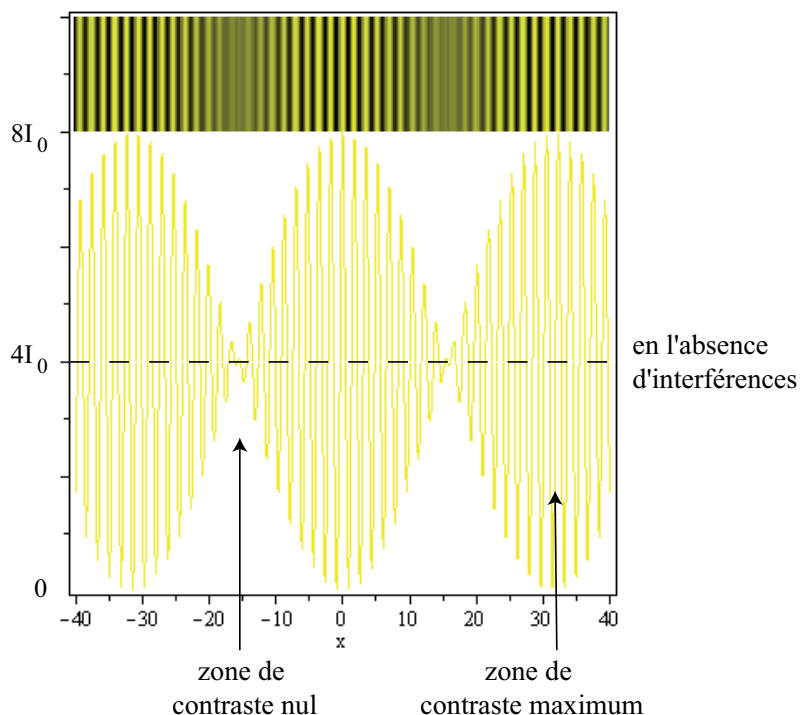


FIGURE 6 – Figure d'interférences issue de la superposition de deux systèmes de franges, associés à des longueurs d'onde différentes.

On observe **des battements** : la figure d'interférence est formée de franges alternativement brillantes et sombres mais le contraste varie en fonction du point d'observation entre 0 et 1. En certains points, le contraste s'annule et l'on observe **un brouillage des franges** à intervalles réguliers tels que :

#### Remarque

Le phénomène de **battements** est caractéristique de la superposition de deux ondes de fréquences très proches. On peut observer - ou plutôt entendre - le même phénomène en excitant en même temps deux diapasons de fréquences de résonance proches.

- Interprétation du brouillage des franges en terme d'ordre d'interférence :

Dans les zones de contraste maximum, les extrema d'intensité d'une longueur d'onde sont en *coïncidence* avec ceux de l'autre longueur d'onde, c'est à dire que les interférences sont soit constructives, soit destructives au même endroit pour les deux longueurs d'onde, et la différence entre les ordres d'interférence est nécessairement telle que :

- pour les zones contrastées :

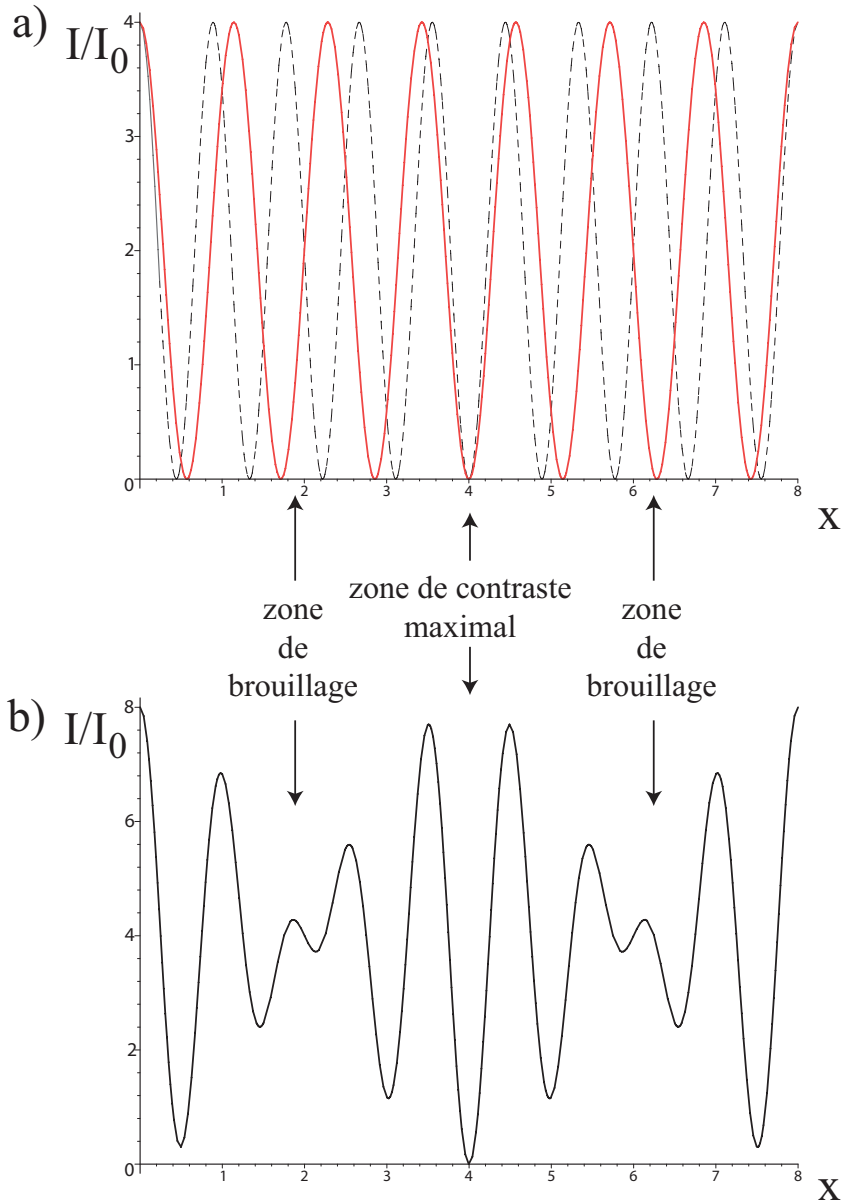


FIGURE 7 – a) représentation des systèmes de franges pour les deux longueurs d'ondes.

A l'inverse, dans les zones de contraste nul, les extrema d'intensité d'une longueur d'onde sont en *anti-coïncidence* avec ceux de l'autre longueur d'onde, c'est à dire que les interférences sont constructives pour une longueur d'onde alors qu'elles sont destructives pour l'autre longueur d'onde, conduisant ainsi à une intensité moyenne. La différence entre les ordres d'interférence est donc nécessairement telle que :

- pour les zones non contrastées :

$\gamma$ ) Figure d'interférence créée par une source polychromatique (ex : lumière blanche après un filtre coloré)

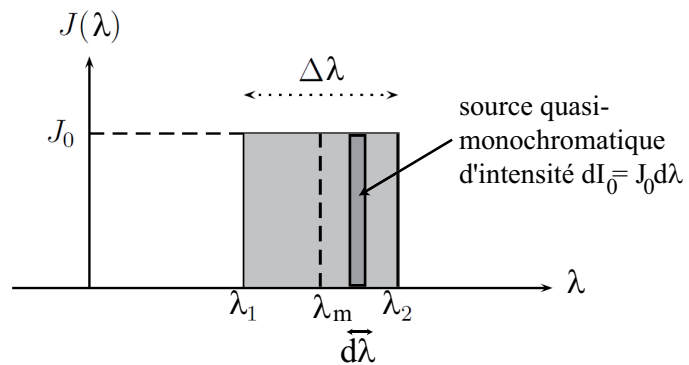
Considérons une figure d'interférences obtenue à partir d'une source ponctuelle polychromatique.

La source est caractérisée par une densité spectrale  $J(\lambda)$  telle que l'intensité  $dI_0$  émise par la source correspondant à une largeur spectrale  $d\lambda$  soit

$$dI_0 = J(\lambda) d\lambda$$

Pour simplifier, on supposera que le spectre d'émission présente un profil rectangulaire défini par :

$$J(\lambda) = \begin{cases} J_0 & \text{si } \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{et on pose} \quad \begin{cases} \lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} & \text{longueur d'onde moyenne } (\lambda_m \simeq \lambda_1 \simeq \lambda_2) \\ \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 & \text{largeur spectrale, avec } \Delta\lambda \ll \lambda_m \\ I_0 = J_0(\lambda_2 - \lambda_1) & \text{intensité totale de la source} \end{cases}$$



La figure ci-dessous montre l'allure de la figure d'interférence dans le cas de deux sources de largeurs spectrales différentes. On constate que, contrairement au cas du doublet, seule la zone centrale présente un contraste maximal.

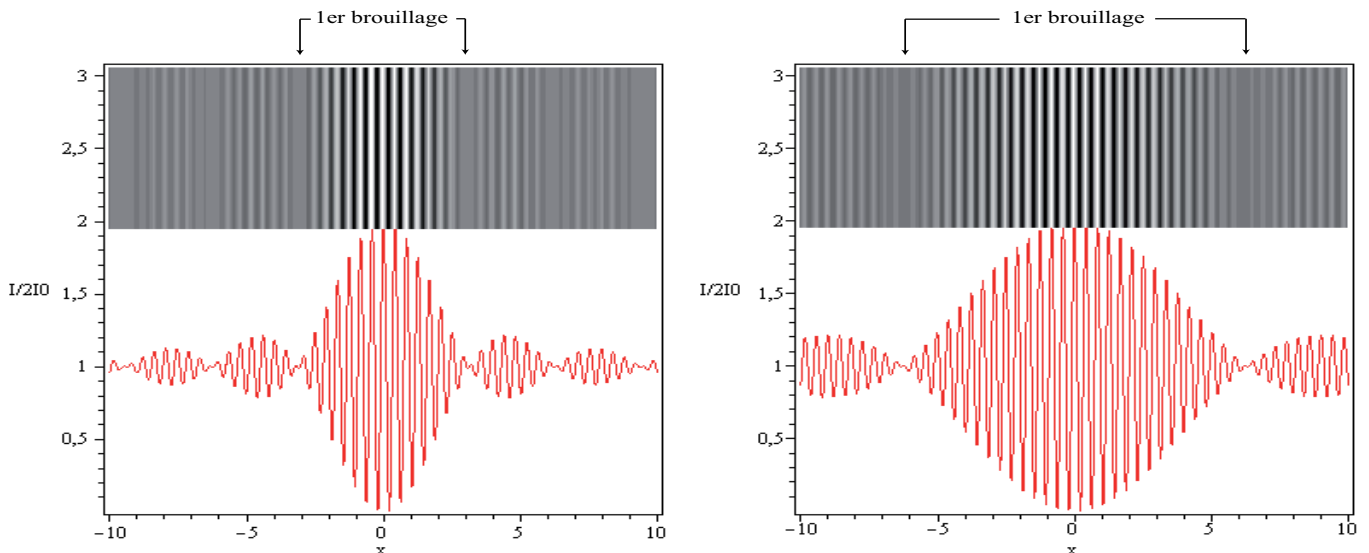


FIGURE 8 – Allure de la figure d'interférence et de l'intensité associée dans le cas d'un profil spectral rectangulaire. À gauche,  $\Delta\lambda = \frac{\lambda_m}{15}$  tandis qu'à droite  $\Delta\lambda = \frac{\lambda_m}{30}$ . Plus la largeur spectrale est faible, plus le nombre de franges visibles est grand.



**Propriété**

Augmenter la largeur spectrale de la source entraîne un brouillage des franges sur les côtés de la figure d'interférence. Ce brouillage est dû à la superposition de système d'interférences d'interfranges différentes. Sur une figure d'interférences à deux ondes, le nombre de franges observables est d'autant plus élevé que le spectre est étroit.

- Interprétation du brouillage des franges en terme d'ordre d'interférence :

Pour un point  $M$  donné de l'écran, il faut définir ici un ordre d'interférence pour chaque longueur d'onde  $\lambda$  :

$$p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda}$$

▷ Au "centre" de la figure d'interférence, qui correspond à l'image géométrique de la source :

Les interférences sont constructives quelle que soit  $\lambda$  et les franges se superposent pour chaque longueur d'onde. Le contraste est donc maximal et les franges sont nettement visibles autour de  $p = 0$  (soit autour de  $x = 0$ ).

- ▷ Par analogie avec le cas du doublet, on s'attend à observer un premier brouillage des franges lorsqu'on peut associer à chaque longueur d'onde  $\lambda$  du spectre une autre longueur d'onde  $\lambda^*$  telle que l'état d'interférence soit en anti-coïncidence (c'est à dire par exemple que si l'une conduit à des interférences constructives en  $M$ , l'autre conduit à des interférences destructives en ce même point).

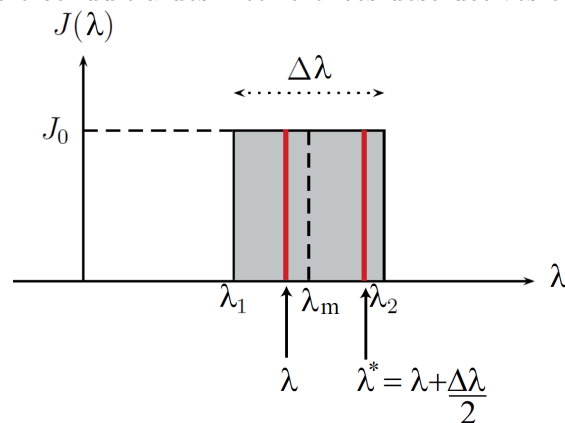


FIGURE 9 – Association de couples de longueurs d'onde dans le spectre afin d'interpréter le brouillage des franges.

D'après le schéma ci-dessus, cette condition de brouillage est vérifiée en un point  $M$  donné lorsque pour tout couple  $\lambda \in [\lambda_1, \lambda_m]$  et  $\lambda^* = \lambda + \frac{\Delta\lambda}{2}$  du spectre avec  $\Delta\lambda \ll \lambda_m$  :

On peut en déduire que le premier brouillage est obtenu en  $M$  tel que :

D'après l'observation des figures d'interférence, les maxima secondaires du contraste sont beaucoup moins prononcés et les franges sont peu visibles au-delà de la zone de brouillage, c'est à dire pour  $|x| > x_{\text{brouillage}}$  ou encore  $|\delta| > \delta_{\text{brouillage}}$  ou encore  $|\Delta p| > \Delta p_{\text{brouillage}} = \frac{1}{2}$ . On peut en déduire le critère semi-quantitatif<sup>4</sup> suivant<sup>5</sup> :

**Critère de brouillage**

Pour une source polychromatique, il y a brouillage des franges pour les point  $M$  de l'écran qui vérifient :

$$|\Delta p|(M) = |p(M, \lambda) - p\left(M, \lambda + \frac{\Delta\lambda}{2}\right)| \geq \frac{1}{2}$$

où  $|\Delta p|$  est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source.

- Interprétation du brouillage des franges en terme de longueur de cohérence  $L_c$

D'après le modèle des trains d'onde, si le déphasage au point  $M$  entre les rayons issus des sources secondaires est trop important, les trains d'onde ne se recouvrent plus et il n'y a plus d'interférences. Ceci est illustré sur la figure ci-dessous.

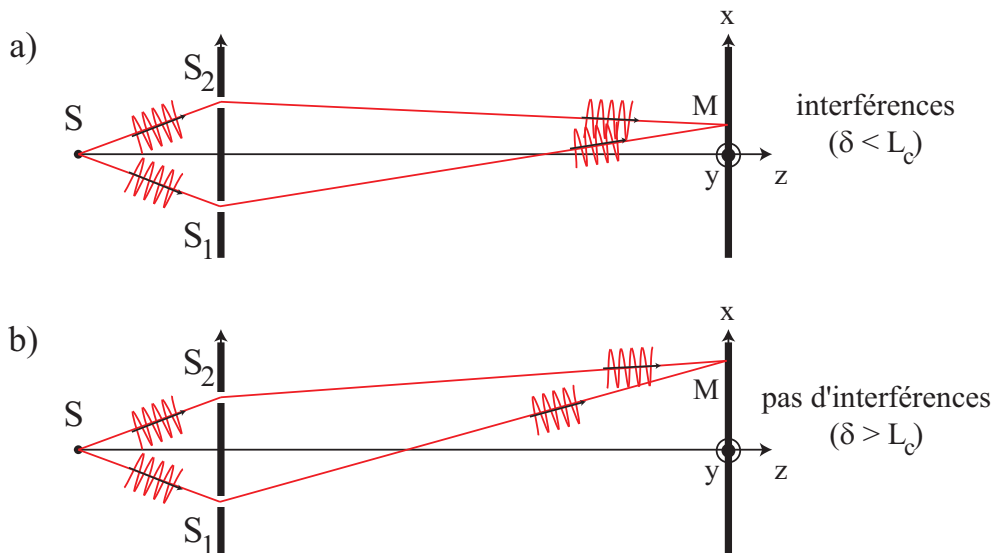


FIGURE 10 – Il n'y a pas d'interférences si les trains d'onde émis par un même point source ne se recouvrent pas, c'est à dire si  $\delta > L_c$ .

**Propriété**

Il y a brouillage des franges si la différence de marche est supérieure à la longueur de cohérence de la source :  $\delta > L_c$ .

Avec ce raisonnement, on s'attend à un brouillage lorsque

On retrouve bien que la figure d'interférence est brouillée lorsque la différence de marche excède une certaine valeur, correspondant à un brouillage des franges sur les côtés de la figure d'interférence. Ceci correspond dans le cas des trous d'Young à :  $x > \frac{D\lambda_m^2}{a\Delta\lambda}$ .

4. Le calcul complet sera fait en DM.

5. Attention, il dépend du point  $M$  d'observation puisque le brouillage n'est pas uniforme contrairement au critère spatial vu précédemment !

Remarque

|| Le raisonnement ci-dessus permet également de comprendre le terme de "cohérence temporelle" : le temps de cohérence de la source correspond donc à la durée des trains d'onde.

ε) Figure d'interférence en lumière blanche

L'expérience des trous d'Young avec une source ponctuelle de lumière blanche - spectre très étendu - conduit à la figure d'interférence représentée dans la partie basse de la figure ci-dessous.

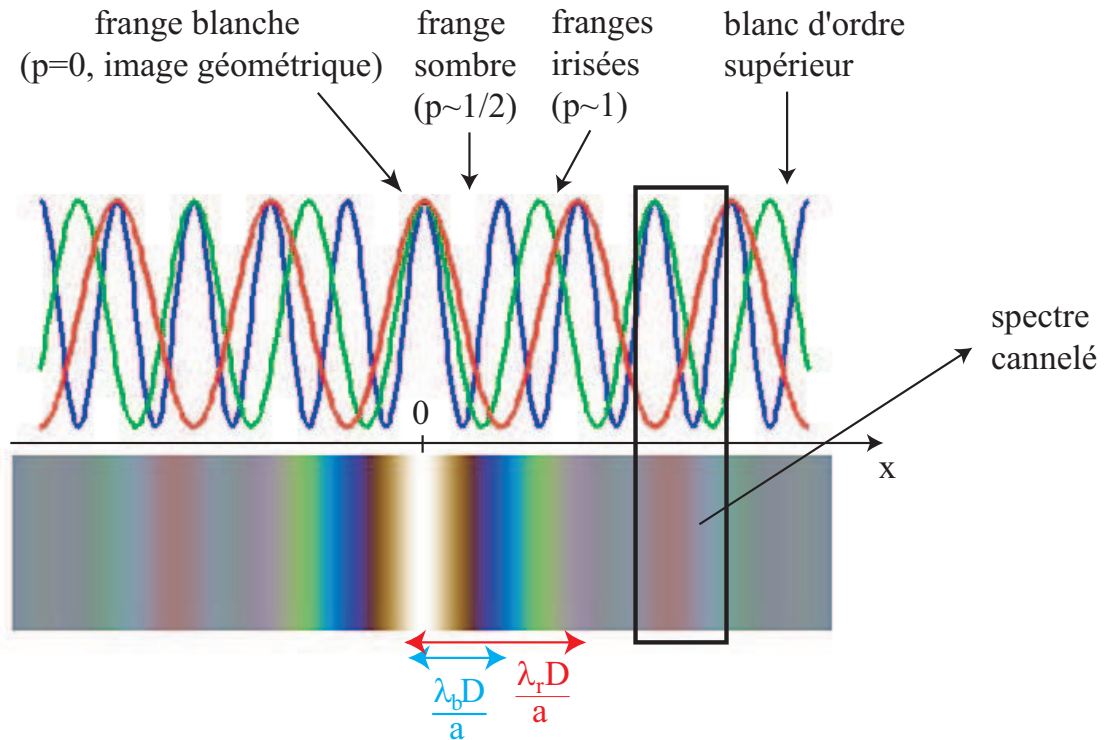


FIGURE 11 – *Interprétation de la figure d'interférences pour le dispositif des trous d'Young dans le cas d'un éclairage avec une source blanche ponctuelle.*

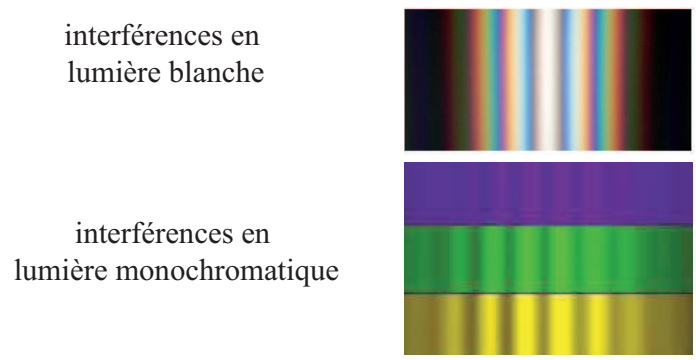


FIGURE 12 – *Figure d'interférences pour le dispositif des trous d'Young dans le cas d'un éclairage avec une source blanche ponctuelle. Les systèmes de franges se superposent et se brouillent très rapidement du fait des différences entre les interfranges.*

La formule de l'interfrange permet de comprendre pourquoi les franges bleues sont plus resserrées que les franges rouges par exemple.

Au centre de la figure d'interférence,  $\delta = 0$  (et  $x = 0$ ) quelle que soit la longueur d'onde, et toutes les ondes sont en phases. On obtient donc une **frange centrale blanche**.

Cette dernière est bordée de **franges sombres** bien nettes. Quand on s'éloigne du centre, les phénomènes correspondants aux différentes longueurs d'onde se décalent de plus en plus. Les bords des franges se colorent et on obtient des irisations appelées **teintes de Newton**, puis les phénomènes parviennent à se brouiller lorsque les franges brillantes de certaines longueurs d'onde occupent la même place que les franges sombres d'autres longueurs d'onde. On obtient alors du **blanc d'ordre supérieur**, on obtient un spectre large présentant des raies sombres : c'est ce que l'on appelle un **spectre cannelé** d'où sont absentes les raies pour lesquelles la position d'observation correspond à la position d'une frange obscure.

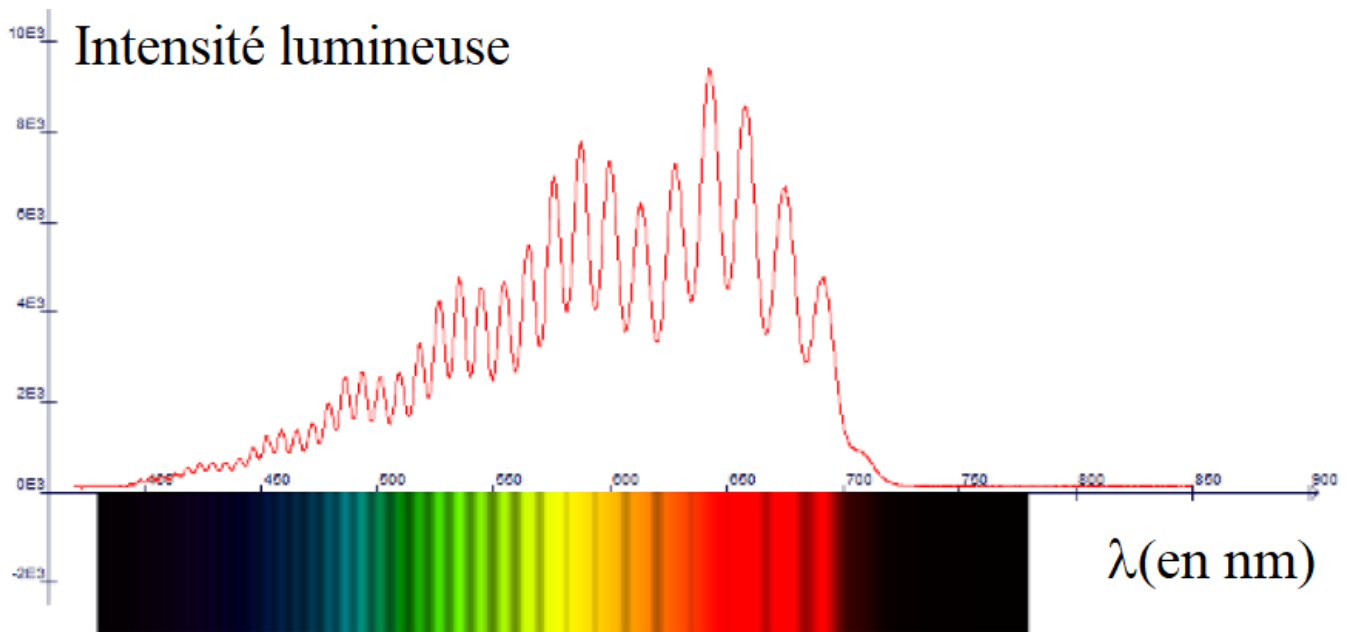


FIGURE 13 – Spectre cannelé.

Si l'on intercale des filtres pour voir ce qui se passe en lumière monochromatique, on peut observer les figures d'interférence correspondant à chacune des longueurs d'onde, comme le montre la figure 12 de la page précédente.

## Conclusion

On retiendra les résultats fondamentaux (qui seront complétés au chapitre suivant) ci-dessous :

- La dégradation de la **cohérence spatiale** de la source lumineuse - c'est à dire un élargissement spatial - diminue la visibilité de la figure d'interférence sur l'ensemble de cette dernière.
- La dégradation de la **cohérence temporelle** de la source lumineuse - c'est à dire un élargissement de son spectre  $\Delta\nu$  - diminue la visibilité de la figure d'interférence sur les bords de cette dernière.

Remarque

On notera que seule la vision ondulatoire de la lumière a été évoquée ici, mais que la lumière peut en fait être à la fois interprétée comme une onde électromagnétique et comme un corpuscule. On parle alors de **dualité onde corpuscule**. Ce caractère est particulièrement bien mis en évidence avec l'expérience des trous d'Young réalisée en régime de comptage de photons<sup>a</sup> comme l'illustre la figure ci-dessous. On notera qu'on peut également réaliser des expériences de trous d'Young à l'aide de particules matérielles comme des électrons ou des fullerènes.

a. De tels régimes sont par exemple obtenus en atténuant très fortement un laser ou en utilisant des "sources à un photon" comme les nanocristaux.

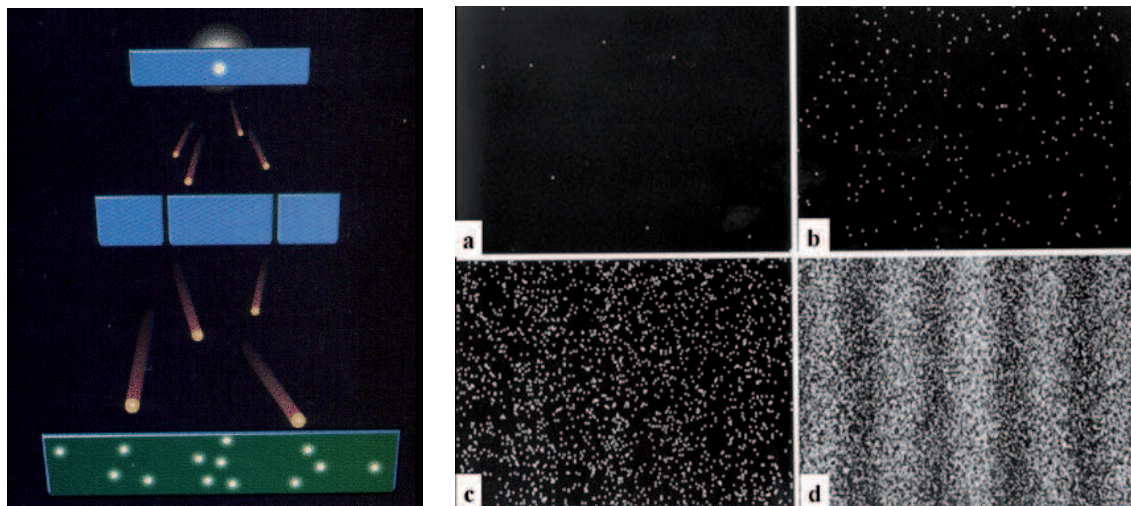


FIGURE 14 – Illustration de la dualité onde-corpuscule de la lumière : Expérience des trous d'Young en régime de comptage de photons.