

Dispositif interférentiel par division du front d'onde : exemple des trous d'Young

*« The experiments I am about to relate ...
may be repeated with great ease, whenever
the sun shines, and without any other
apparatus than is at hand to every one. »*

THOMAS YOUNG (1773-1829)

PLAN DU CHAPITRE

I	Trous d'Young ponctuels en milieu non dispersif - interférences non localisées	3
I.1	Milieu dispersif ou non ?	3
I.2	Trous d'Young éclairés par une source ponctuelle : approche qualitative	4
	a - Montage "type" et champ d'interférences	4
	b - Hyperboloïdes d'égale intensité - non localisation des interférences	5
I.3	Trous d'Young éclairés par une source ponctuelle : observation à grande distance	7
	a - Calcul approché de la différence de marche (calcul à retenir !)	7
	b - Zone d'égale intensité - interfrange	8
I.4	Trous d'Young éclairés par une source ponctuelle : observation rigoureusement à l'infini	9
	a - Montages "types"	9
	b - Zone d'égale intensité - interfrange	9
I.5	Prolongement : sources d'Young à l'infini - interférences en ondes planes.	10
	a - Montage "type" et champ d'interférences	10
	b - Zone d'égale intensité et interfrange	10
II	Variation de l'ordre d'interférence	12
II.1	... par déplacement du point d'observation	12
II.2	... par déplacement du point source - problème de la cohérence spatiale	12

	a - Calcul de la différence de marche - "glissement" de la figure d'interférences	12
	b - Conséquence 1 : perte de contraste avec deux sources ponctuelles décalées - anticoïncidence	14
	c - Conséquence 2 : perte de contraste par élargissement angulaire de la source - problème de cohérence spatiale de source	17
II.3	... par variation de la longueur d'onde - problème de la cohérence temporelle	19
	a - Variation d'ordre	19
	b - Conséquence 1 : perte de contraste avec une raie double	20
	c - Conséquence 2 : perte de contraste par élargissement spectral de la source	23

I Trous d'Young ponctuels en milieu non dispersif - interférences non localisées

1.1 Milieu dispersif ou non ?

Rappelons la définition d'une vibration plane progressive harmonique, et supposons qu'elle se déplace selon l'axe $[Ox)$ en direction des x croissants :

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi_0 \cdot \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) = \psi_0 \cdot \cos(\omega t - kx) = \psi(x, t) \quad \text{avec } k = nk_0 = n \frac{\omega}{c}$$

Appelons $\phi = \omega t - kx$ la phase globale de cette onde.

Entre t et $t + dt$ le plan d'onde s'est déplacée de x à $x + dx$, ainsi la variation de la phase doit être nulle si l'on veut conserver entre ces deux instants, aux positions correspondantes, la même valeur de l'onde.

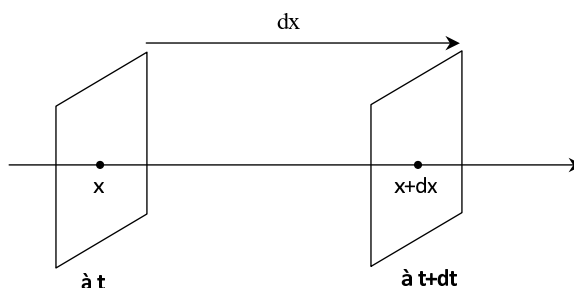


FIGURE IX.1 – Déplacement du plan de phase pendant dt

Formellement, cela s'écrit :

$$\psi(x, t) = \psi(x + dx, t) \Rightarrow \phi(x, t) = cste$$

soit :

$$d\phi = \omega dt - k dx = 0$$

qui donne :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k}$$

Cette dernière grandeur est appelée vitesse de déplacement de la phase, ou plus simplement **vitesse de phase**¹ :

$$v_\phi = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{n} \frac{\omega}{k_0} = \frac{c}{n(\lambda_0)}$$

Dans la mesure où l'indice de réfraction est une fonction de la longueur d'onde dans le vide λ_0 de la vibration, la vitesse de phase est, elle aussi liée à λ_0 . On appelle ce phénomène **dispersion de la vitesse de phase** ou plus simplement **dispersion**.

A RETENIR :

1. Ces notions seront développées de manière bien plus approfondies en cours d'électromagnétisme

HYPOTHÈSE POUR CE COURS :

nous considérerons systématiquement que le milieu est non dispersif, c'est à dire d'indice n indépendant de la longueur d'onde de la vibration considérée.

Conséquence : les chemins optique seront toujours indépendants de la longueur d'onde : $L_{AB} = \int_A^B \underbrace{n}_{\neq \text{fct}(\lambda_0)} \cdot ds \neq \text{fct}(\lambda_0)$

I.2 Trous d'Young éclairés par une source ponctuelle : approche qualitative

a - Montage "type" et champ d'interférences

Une source unique S_0 monochromatique éclaire un écran opaque dans lequel sont disposés 2 trous S_1 et S_2 de très petite taille e par rapport à la longueur d'onde λ_0 . Ces deux trous se comportent alors comme des sources secondaires émettant de la lumière dans toutes les directions du demi-espace aval (par diffraction²). On dispose un écran après les trous, dans un premier temps parallèle au plan des sources :

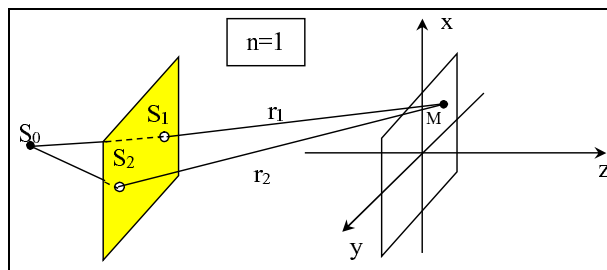


FIGURE IX.2 – Expérience des trous d'Young

Les 2 ondes issues de chaque trous sont cohérentes et vont donc interférer dans l'espace aval.

A RETENIR :

Définition I-1: CHAMP D'INTERFÉRENCES

On appelle champ d'interférences la zone d'espace commune aux deux vibrations cohérentes et dans laquelle s'observent les interférences.

Les deux faisceaux cohérents de lumière sont susceptibles de se croiser dans tout le demi-espace en aval des trous ; le champ d'interférences est donc a priori très étendu.

Les interférences sont qualifiées de non localisées.

Remarque I-1: LIMITATION DU CHAMP D'INTERFÉRENCES

En réalité, la nécessité de vérifier $|\delta(M)| \stackrel{n=1}{=} |S_2M - S_1M| < L_c$ limite ce champ d'interférence.

2. On a ici $e \ll \lambda$, on est donc hors cadre de l'optique géométrique

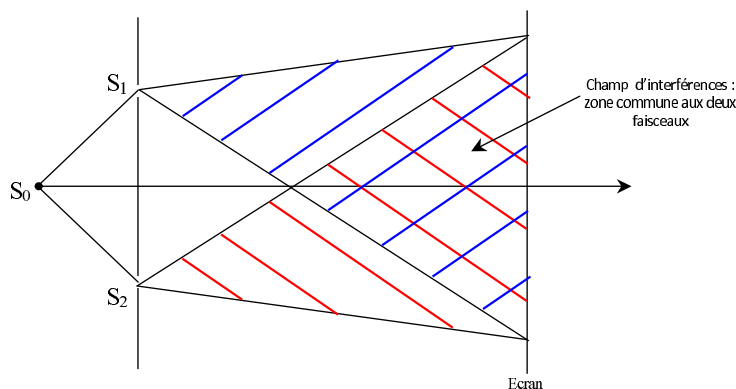


FIGURE IX.3 – Champ d'interférences pour les trous d'Young

b - Hyperboloïdes d'égale intensité - non localisation des interférences

QUESTION : quelles sont les zones d'espace de même intensité lumineuse ?

Hypothèses sur les sources : Les trous d'Young S_1 et S_2 sont identiques, de dimension très faible face à $\lambda_0 \Rightarrow$, et émettent des vibrations sphériques :

$$\begin{cases} \psi_1(S_1M = r_1, t) = \frac{s_0}{r_1} \cdot e^{j(\omega t - k_0(S_1M) - \phi_{S_1})} \\ \psi_2(S_2M = r_2, t) = \frac{s_0}{r_2} \cdot e^{j(\omega t - k_0(S_2M) - \phi_{S_2})} \end{cases}$$

IMPORTANT : On se place à une distance de la source telle que $r_{1/2} \gg \lambda$ ainsi l'amplitude reste quasi-constante³ ; on prendra donc :

$$\begin{cases} \psi_1(S_1M = r_1, t) \simeq \psi_0 \cdot e^{j(\omega t - k_0(S_1M) - \phi_{S_1})} = \psi_0 \cdot e^{j(\omega t - k_0(S_0S_1M))} \\ \psi_2(S_2M = r_2, t) \simeq \psi_0 \cdot e^{j(\omega t - k_0(S_2M) - \phi_{S_2})} = \psi_0 \cdot e^{j(\omega t - k_0(S_0S_2M))} \end{cases}$$

L'intensité s'écrit (formule de Fresnel idéale car $I_1 = I_2 = I_0$) :

$$I(M) = 2I_0 [1 + \cos[\Delta\varphi(M)]] = 2I_0 [1 + \cos[k_0\delta(M)]]$$

avec la différence de marche (pour $n=1$) : $\delta(M) = (S_0S_2M) - (S_0S_1M) = S_0S_2 + S_2M - S_0S_1 - S_1M$ soit :

$$\delta(M) = S_2M - S_1M$$

Les zones d'égales intensité sont définies par : $I(M) = cste \Leftrightarrow \Delta\varphi(M) = cste \Leftrightarrow \delta(M) = S_2M - S_1M = cste$

Cette dernière équation géométrique définit des hyperboloïdes de foyers S_1 et S_2 comme zones d'égale intensité.

3. Hypothèse analysée dans le chapitre sur la superposition des ondes lumineuses

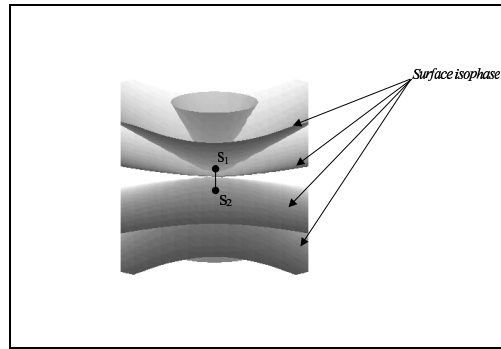


FIGURE IX.4 – Hyperboloïdes "isophases" donc zones d'égale intensité

Observation des franges sur un écran : 2 points de vue intéressants !

► Observation dans un plan \parallel à celui des sources :

Si l'on place l'écran dans le champ d'interférences parallèlement au plan support des trous d'Young, on obtient une figure d'interférences correspondant aux intersections des hyperboloïdes d'égale intensité avec le plan de l'écran, soit des hyperboles :

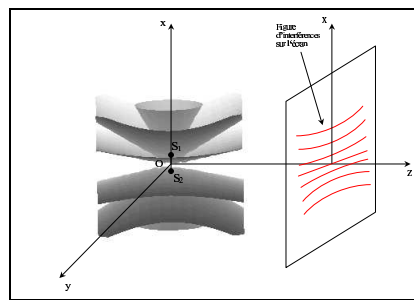


FIGURE IX.5 – Plan parallèle à l'axe des sources

► Observation dans un plan \perp à l'axe des sources :

Si l'on place maintenant l'écran dans le champ d'interférences perpendiculairement à l'axe des trous d'Young, la figure d'interférence correspond à des cercles d'axe S_1S_2 (symétrie de révolution) :

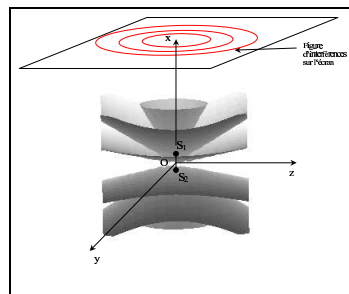


FIGURE IX.6 – Plan perpendiculaire à l'axe des sources

Remarque I-2: MONTAGE PRATIQUE DES FENTES D'YOUNG

Dans le cas des fentes d'Young, parmi les deux dispositions d'écran présentées ci-dessus, la seule exploitable en pratique pour observer des interférences est celle du plan parallèle à l'axe des sources.

I.3 Trous d'Young éclairés par une source ponctuelle : observation à grande distance

a - Calcul approché de la différence de marche (calcul à retenir !)

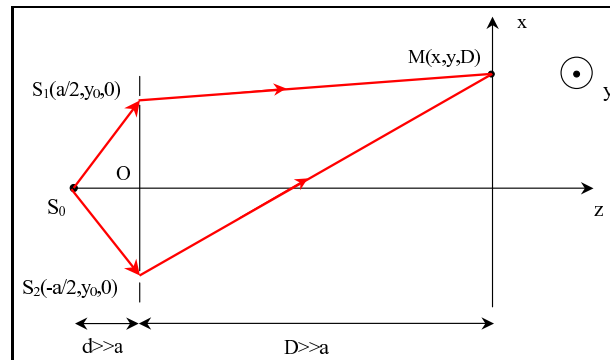


FIGURE IX.7 – Expérience des trous d'Young

Hypothèse : On envisage ici de placer l'écran d'observation à très grande distance des trous d'Young, soit $D \gg a, x, y$. **ATTENTION :** le milieu est assimilé au vide $n = 1$ pour tout ce qui suit.

On se propose de déterminer l'allure de la figure d'interférences sur l'écran en un point M de coordonnées (x, y, D) .

$$\text{Evaluons } \delta(M) : \overrightarrow{S_1 M} = \begin{pmatrix} x - \frac{a}{2} \\ y - y_0 \\ D \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{S_2 M} = \begin{pmatrix} x + \frac{a}{2} \\ y - y_0 \\ D \end{pmatrix}$$

$$\text{d'où : } \delta(M) = (S_0 S_2 M) - (S_0 S_1 M) = (S_2 M) - (S_1 M) \stackrel{n=1}{=} S_2 M - S_1 M$$

$$= \left[\left(x + \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y_0)^2 + D^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \left[\left(x - \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y_0)^2 + D^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

soit en factorisant par D :

$$\delta(M) = D \left[1 + \frac{\left(x + \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y_0)^2}{D^2} \right]^{\frac{1}{2}} - \left[1 + \frac{\left(x - \frac{a}{2} \right)^2 + (y - y_0)^2}{D^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

qui devient par un simple développement limité au second ordre en a/D , x/D , y/D et y_0/D :

$$\delta(M) \simeq D \left[1 + \frac{1}{2} \frac{\left(x + \frac{a}{2}\right)^2 + (y - y_0)^2}{D^2} - 1 - \frac{1}{2} \frac{\left(x - \frac{a}{2}\right)^2 + (y - y_0)^2}{D^2} \right]$$

soit après calcul,

$$\delta(M) = \frac{ax}{D}$$

et une différence de phase :

$$\Delta\varphi(M) = \frac{2\pi ax}{\lambda_0 D}$$

L'intensité sur l'écran en fonction de x s'écrit donc :

$$I(x) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi ax}{\lambda_0 D} \right) \right]$$

Par ailleurs, l'ordre d'interférence au point $M(x)$ est :

$$p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda} = \frac{ax}{\lambda_0 D}$$

b - Zone d'égalité intensité - interfrange

Exercice de cours: (I.3) - n° 1. Décrire la géométrie de la figure d'interférences obtenue sur l'écran.

RÉPONSE :

- Les zones d'égalité intensité sur l'écran sont les droites⁴ d'équation $x = cste$.
- On caractérise généralement la figure d'interférences obtenue par son **interfrange** i correspondant à la distance séparant deux maxima ou minima d'intensité. L'interfrange correspondant à une variation de différence de phase de 2π , on a :

$$\Delta[\Delta\varphi] = \frac{2\pi a}{\lambda_0 D} \Delta x_{maxi} = 2\pi \Rightarrow i = \Delta x_{maxi} = \frac{\lambda_0 D}{a}$$

NB⁵: $D \sim 1 \text{ m}$, $a \sim 1 \text{ mm}$, $\lambda \sim \mu\text{m} \Rightarrow i \sim 1 \text{ mm}$

Remarque I-3: IMPORTANT !

- y_0 n'intervenant pas dans le calcul de l'interfrange, on peut remplacer avantageusement les trous par des fentes fines selon x et parallèles à l'axe $y \Rightarrow$ augmentation de la luminosité car alors tous les systèmes d'interférences dus à chaque point émissif de la source vont se superposer (on dit qu'il n'y a pas de brouillage).
- A grande distance, les franges hyperboles "tendent" vers des droites $\parallel [Oy]$ i.e. $x = cte$.

4. cas limite des hyperboles à grande distance

I.4 Trous d'Young éclairés par une source ponctuelle : observation rigoureusement à l'infini

IDÉE : on exploite des lentilles !

a - Montages "types"

En plaçant une lentille en sortie de l'interféromètre d'Young, on conjugue l'infini avec le plan focal image de la lentille ; on réalise ainsi rigoureusement les conditions d'observation des interférences à l' ∞ :

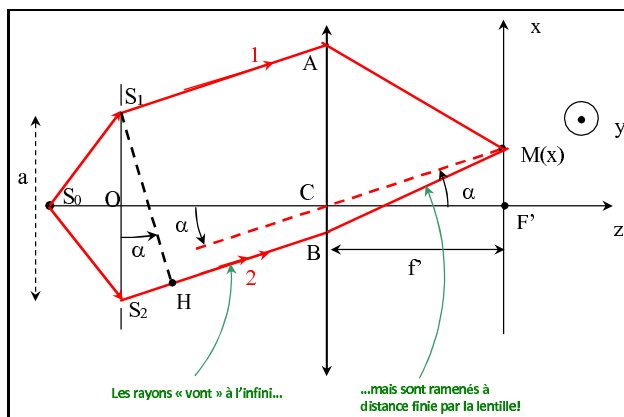


FIGURE IX.8 – Montage à une lentille

Cette configuration, qui permet d'avoir des rayons émergents de S_1 et S_2 rigoureusement parallèles, assure également des intensités parfaitement identiques pour ces deux rayons, car on montre en analysant le phénomène de diffraction que cette intensité est directement liée à l'inclinaison des rayons.

On utilise souvent en pratique une seconde lentille permettant de réaliser une source primaire à l'infini. On concentre ainsi la lumière de la source sur les trous ce qui assure une meilleure luminosité.

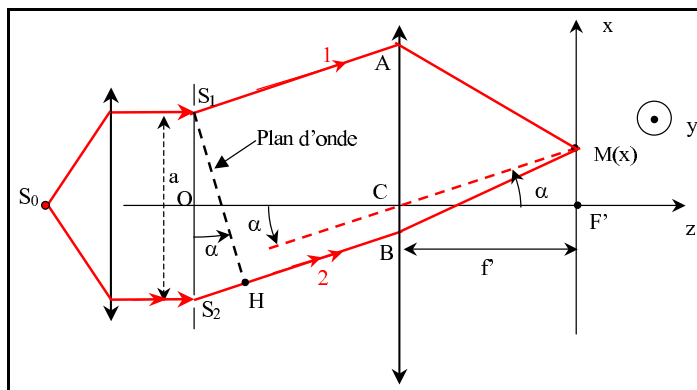


FIGURE IX.9 – Montage à deux lentilles

b - Zone d'égale intensité - interfrange

Calculons la différence de marche entre les rayons issus de S_1 et S_2 interférant en M

$$\delta(M) = (S_0M)_{rayon_2} - (S_0M)_{rayon_1} = (S_0S_2M) - (S_0S_1M) = (S_2M) - (S_1M) = (S_2H) + (HM) - (S_1M)$$

Par ailleurs, par retour inverse de la lumière, en faisant de M une source, et en exploitant le théorème de Malus, il vient l'égalité des chemins optiques (MH) et (MS_1) (détail de la méthode **EN LIVE!!!**) soit $(MS_1) = (MH)$, et donc :

$$(S_1M) = (HM)$$

(la lentille n'introduit pas de différence de marche entre objet et image conjugués)

$$\text{donc : } \delta(M) = (S_2H) \stackrel{n=1}{=} S_2H = a \sin \alpha \stackrel{cond. Gauss}{\simeq} a\alpha \simeq a \tan \alpha = a \frac{x}{f'}$$

Ainsi l'ordre d'interférences au point M s'écrit :

$$p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda_0} = \frac{ax}{\lambda_0 f'}$$

$$\text{et donc un interfrange : } i = \frac{\lambda_0 f'}{a}$$

L'éclairement sur l'écran en fonction de x s'écrit donc :

$$I(x) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi ax}{\lambda f'} \right) \right]$$

et les zones d'égale intensité sont toujours des droites d'équation $x = cste$.

I.5 Prolongement : sources d'Young à l'infini - interférences en ondes planes.

a - Montage "type" et champ d'interférences

En plaçant les trous d'Young S_1 et S_2 dans le plan focal objet d'une lentille convergente, ces derniers occupent des foyers objets secondaires et engendrent deux faisceaux de lumière parallèles de vecteurs d'onde respectifs \vec{k}_1 et \vec{k}_2 .

Les ondes associées à chaque faisceau sont des ondes planes d'expression au point M avec $\overrightarrow{OM} = \vec{r}$ (M dans la zone d'interférences) :

$$\psi_1(\vec{r}, t) = \psi_0 \cdot e^{j(\omega t - \vec{k}_1 \cdot \vec{r} - \phi_{F_1})} \quad \text{et} \quad \psi_2(\vec{r}, t) = \psi_0 \cdot e^{j(\omega t - \vec{k}_2 \cdot \vec{r} - \underbrace{\phi_{F_2}}_{=\phi_{F_1}})}$$

b - Zone d'égale intensité et interfrange

L'amplitude d'onde totale est obtenue par superposition :

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi_1(\vec{r}, t) + \psi_2(\vec{r}, t)$$

L'intensité au point M s'écrit :

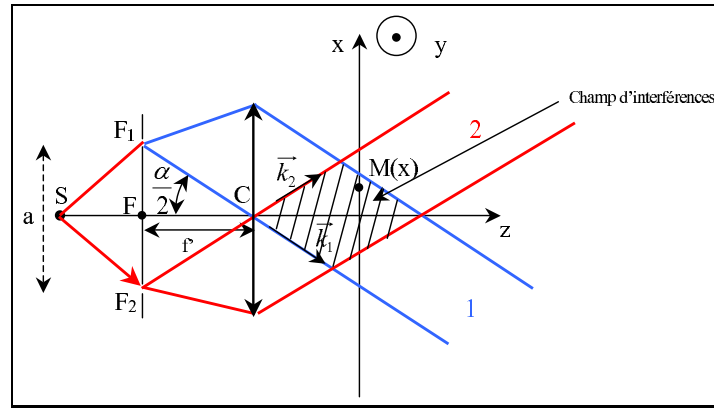


FIGURE IX.10 – Interférences en ondes planes

$$I(M) = \frac{K}{2} [\psi \cdot \psi^*] = \frac{K}{2} [\psi_1(\vec{r}, t) + \psi_2(\vec{r}, t)] \cdot [\psi_1^*(\vec{r}, t) + \psi_2^*(\vec{r}, t)]$$

soit :

$$I(M) = \frac{K}{2} \left[2\psi_0^2 + \psi_0^2 \left(e^{j(\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r}} + e^{-j(\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r}} \right) \right] = \frac{K}{2} \left[2\psi_0^2 + 2\psi_0^2 \cos \left((\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} \right) \right]$$

soit en posant l'intensité I_0 d'une source $I_0 = \frac{K}{2} \psi_0^2$ on obtient :

$$I(M) = 2I_0 \left[1 + \underbrace{\cos \left((\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} \right)}_{\text{caractéristique des interférences en ondes planes}} \right]$$

avec ($n = 1$) : $\vec{k}_1 = k_0 \begin{pmatrix} -\sin \frac{\alpha}{2} \\ 0 \\ \cos \frac{\alpha}{2} \end{pmatrix}$ et $\vec{k}_2 = k_0 \begin{pmatrix} \sin \frac{\alpha}{2} \\ 0 \\ \cos \frac{\alpha}{2} \end{pmatrix}$ et $\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$

finalement :

$$I(M) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(2k_0 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot x \right) \right]$$

Par ailleurs, en se plaçant en conditions de Gauss pour les faisceaux 1 et 2, on a :

$$\sin \frac{\alpha}{2} \simeq \tan \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2f'} \simeq \frac{\alpha}{2}$$

d'où :

$$I(M) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(k_0 \frac{a}{f'} \cdot x \right) \right]$$

L'ordre d'interférence au point M de l'écran s'écrit là-encore $p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda_0} = \frac{ax}{\lambda_0 f'}$

Les franges d'interférences sont les droites d'équation $x = cste$, l'interfrange étant alors $i = \frac{\lambda_0 f'}{a}$.

II Variation de l'ordre d'interférence ...

II.1 ... par déplacement du point d'observation

On rappelle qu'un ordre entier correspond à une frange brillante et qu'un ordre $\frac{1}{2}$ entier à une frange sombre.

Reprenons ici le cas du montage à l'infini (avec 1 ou 2 lentilles convergentes de focales f' arbitrairement identiques). L'ordre d'interférence est donné par :

$$p(x) = \frac{ax}{\lambda f'}$$

La variation élémentaire d'ordre est donc : $dp(x) = \frac{a}{\lambda f'} \cdot dx$

soit :

$$\Delta p(x) = \frac{a}{\lambda f'} \cdot \Delta x$$

Exercice de cours: (II.1) - n° 2. Déterminer le déplacement $\Delta x_{M \rightarrow m}$ sur l'écran pour passer d'une frange brillante (**M**aximum d'intensité) à une frange sombre (**m**inimum d'intensité).

II.2 ... par déplacement du point source - problème de la cohérence spatiale

a - Calcul de la différence de marche - "glissement" de la figure d'interférences

On reprend ici le montage à deux lentilles et on suppose que le trou source S_0 (/fente source) subit une translation selon l'axe $[Ox']$; on notera x' la coordonnée du point source S_0 :

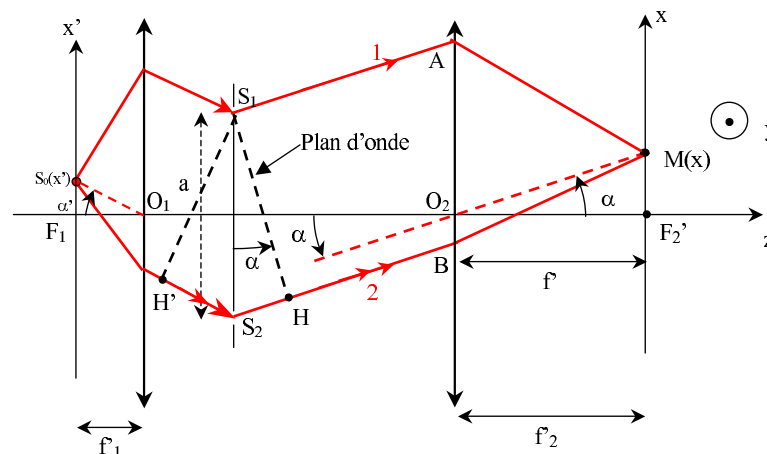


FIGURE IX.11 – Trous d'Young avec translation de la source primaire

La différence de marche au point M entre les rayons 1 et 2 s'écrit :

$$\delta(M) = (S_0 S_2 M) - (S_0 S_1 M) = \underbrace{(S_0 S_2) - (S_0 S_1)}_{=(H' S_2)} + \underbrace{(S_2 M) - (S_1 M)}_{=(S_2 H)}$$

En supposant que l'indice optique vaut $n = 1$, la différence de marche en M devient simplement :

$$\delta(M) = H' S_2 + S_2 H = a \cdot (\sin \alpha' + a \cdot \sin \alpha) \stackrel{cond. Gauss}{\simeq} a \cdot (\alpha' + \alpha) \stackrel{\sin \simeq \tan}{\simeq} a \cdot \left(\frac{x'}{f'_1} + \frac{x}{f'_2} \right)$$

L'ordre en M est donc :

$$p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda_0} = \frac{a}{\lambda} \cdot (\alpha' + \alpha) = \frac{a}{\lambda_0} \cdot \left(\frac{x'}{f'_1} + \frac{x}{f'_2} \right)$$

et l'intensité en M s'écrit ainsi (2 formulations) :

$$I(\alpha', \alpha) \simeq 2I_0 \cdot \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi a}{\lambda} (\alpha' + \alpha) \right) \right]$$

ou bien :

$$I(x', x) = 2I_0 \left[1 + \cos \left[\frac{2\pi a}{\lambda} \left(\frac{x'}{f'_1} + \frac{x}{f'_2} \right) \right] \right]$$

Lors d'un déplacement de la source S_0 depuis le foyer principal objet $x' = 0$ i.e. $\alpha' = 0$ de la 1^{ère} lentille vers un foyer secondaire $x' \neq 0$ i.e. $\alpha' \neq 0$, l'ordre en M **point fixe de l'écran** subit une variation :

$$\Delta p(x, x')|_x = \frac{a}{\lambda f'_1} \cdot \Delta x' \quad \text{ou bien} \quad \Delta p(\alpha, \alpha')|_\alpha = \frac{a}{\lambda} \cdot \Delta \alpha'$$

NB : l'interfrange est inchangé (x' fixé) puisque : $\Delta p \stackrel{x' = cste}{=} 1 \implies i = \frac{\lambda f'_2}{a}$

Conséquence : en déplaçant S_0 de manière continue, il y a variation continue de l'ordre en M **fixe**, et par conséquent un "glissement" de la figure d'interférences sur l'écran.

En effet, si l'on observe la frange d'ordre nul $p = 0$:

► si $x' = 0 \implies S_0 \equiv F$ alors $p = \frac{a}{\lambda_0} \left(\frac{x}{f'_2} + \frac{x'}{f'_1} \right) = 0 \implies x = 0$

► si $x' > 0 \implies S_0 \neq F$ alors $p = \frac{a}{\lambda_0} \left(\frac{x}{f'_2} + \frac{x'}{f'_1} \right) = 0 \implies x = -\frac{f'_2}{f'_1} x' < 0 \rightarrow \text{«glissement» frange d'ordre nul}$

→ CF SIMULATION

Exercice de cours: (II.2) - n° 3. De quelle valeur x' doit-on déplacer le point source S_0 depuis le foyer principal objet de la 1^{ère} lentille pour que les franges brillantes et sombres soient permutées ? Précisez le sens de "glissement" de la figure d'interférences.

RÉPONSE :

La permutation entre franges brillantes et sombres correspond à un glissement d'un demi-interfrange, soit une variation d'ordre de $\Delta p = \frac{1}{2}$ sur une position fixe de l'écran, par exemple à l'origine en $x = 0$. On a :

$$\Delta p(x) = \frac{a}{\lambda f'_1} \cdot \Delta x' = \frac{1}{2}$$

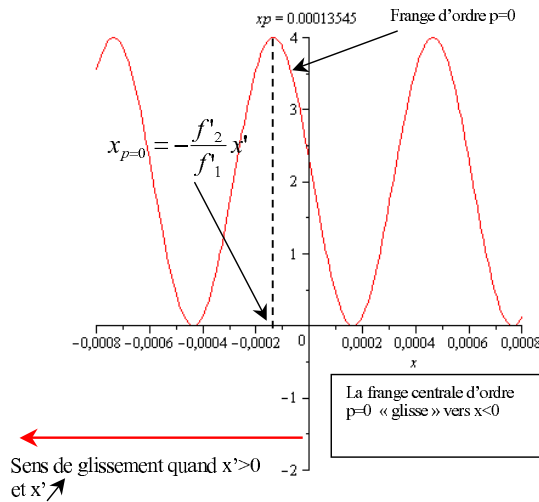


FIGURE IX.12 – Glissement de la figure d'interférences vers les $x < 0$ par translation du point source S_0 vers les $x' > 0$

soit :

$$x' = \Delta x' = \frac{\lambda f'_1}{2a}$$

Sens du déplacement : la frange centrale d'ordre $p = 0 = a \cdot \left(\frac{x'}{f'_1} + \frac{x_{p=0}}{f'_2} \right)$ occupe donc maintenant la position :

$$x_{p=0} = -\frac{f'_2}{f'_1} x' = -\frac{\lambda f'_2}{2a} < 0 \quad \Rightarrow \quad \text{Déplacement de la figure d'interférences vers le bas}$$

b - Conséquence 1 : perte de contraste avec deux sources ponctuelles décalées - anticoincidence

Supposons maintenant que la source soit constituée de deux points sources identiques (donc de même intensité), l'un S_0 placé sur l'axe optique et l'autre $S'_0(x')$ disposé à l'ordonnée x' perpendiculairement à l'axe.

IMPORTANT : les deux points sont indépendants, et constituent donc des sources incohérentes (trains d'onde émis par l'une sans relation de phase fixe avec les trains d'onde émis par l'autre.) \rightarrow chaque point source va donner son propre système d'interférences sur l'écran, et l'intensité totale sera simplement la somme des intensités données par chacun.

D'après le paragraphe précédent, on a exprimé l'intensité en M résultant de la source S'_0 est :

$$I'(M) = 2I_0 \cdot \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi a}{\lambda} (\alpha' + \alpha) \right) \right] = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \left(\frac{x'}{f'_1} + \frac{x}{f'_2} \right) \right) \right]$$

et celle résultant de la source S_0 est :

$$I(M) = 2I_0 \cdot \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \alpha \right) \right] = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \frac{x}{f'_2} \right) \right]$$

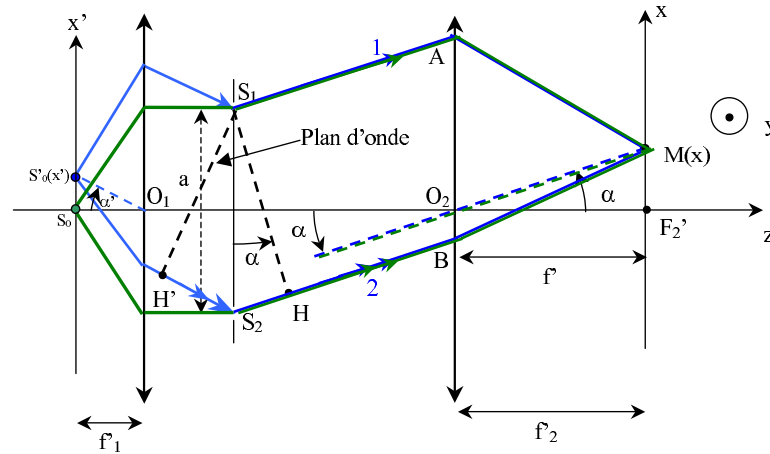


FIGURE IX.13 – Interférences avec deux points sources incohérents

L'intensité totale est donc :

$$I_{tot}(M) = I(M) + I'(M) = 2I_0 \cdot \left[2 + \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda}\alpha\right) + \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda}(\alpha + \alpha')\right) \right]$$

FORMULAIRE : $\cos p + \cos q = 2 \cdot \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$

ainsi :

$$I_{tot}(M) = 4I_0 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi a}{\lambda}\alpha'\right) \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda}(\alpha + \frac{\alpha'}{2})\right) \right]$$

Soit en utilisant "la métrique" en x et x' fournie par les lentilles :

$$I_{tot}(x) = 4I_0 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi a}{\lambda} \frac{x'}{f_1'}\right) \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda} \left(\frac{x}{f_2'} + \frac{x'}{2f_1'}\right)\right) \right]$$

soit :

$$I_{tot}(x) = 4I_0 \left[1 + V(x') \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda} \left(\frac{x}{f_2'} + \frac{x'}{2f_1'}\right)\right) \right] \quad \text{avec } V(x') = \cos\left(\frac{\pi a}{\lambda} \frac{x'}{f_1'}\right) \text{ appelée "visibilité"}$$

Calculons le contraste de la figure d'interférence. On a :

$$\begin{cases} I_{max} = 4I_0 [1 + |V(x')|] \\ I_{min} = 4I_0 [1 - |V(x')|] \end{cases}$$

soit un contraste :

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = |V(x')| = \left| \cos\left(\frac{\pi a x'}{\lambda f_1'}\right) \right|$$

→ CF. SIMULATION : en partant d'une situation de superposition des sources au foyer F de la première lentille, on fait glisser S_0' vers $x' > 0 \Rightarrow$ on constate que le contraste s'annule lorsque les franges sombre du système d'interférences issu de la source S_0 coïncide avec les franges brillantes du système d'interférences issu de la source S_0' ; on parle alors d'anticoïncidence ou de brouillages des franges.

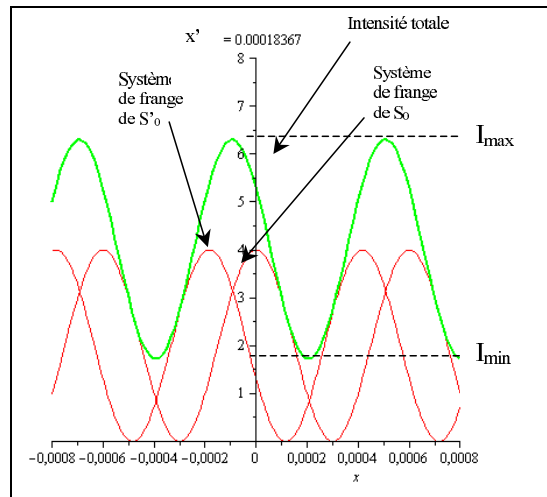


FIGURE IX.14 – Figure d'interférences avec 2 sources : diminution du contraste

Définition II-1: BROUILLAGE DE FRANGES

On parle de brouillage de la figure d'interférences lorsque le contraste de celle-ci s'annule : $C = 0$.

Dans le cas de la superposition de deux systèmes d'interférences indépendants donnés par deux points source de même intensité, la situation de brouillage correspond à une anticoincidence des franges, i.e. les franges brillantes de l'un se superposent aux franges sombres de l'autre et inversement.

ANALYSE DE L'ANTICOINCIDENCE : 2 approches possibles pour dégager le critère d'annulation de contraste

- Approche graphique : pour que les franges brillantes de S'_0 recouvrent pour la première fois les franges sombres de S_0 , il suffit de faire "glisser" les franges mobiles d'un **demi-interfrange**, soit une variation d'ordre de :

$$\Delta p(M) = \frac{1}{2} \quad (\text{critère de brouillage})$$

ceci correspond à un déplacement $\Delta x'$ de la source S'_0 de :

$$\Delta p(x') = \frac{a}{\lambda f'_1} \cdot \Delta x' = \frac{1}{2} \implies \Delta x' = \frac{\lambda f'_1}{2a}$$

- Approche par le calcul de première annulation du contraste : le contraste vaut : $C = \left| \cos \left(\frac{\pi a x'}{\lambda f'_1} \right) \right|$

et sa première annulation se produit pour : $\frac{\pi a x'}{\lambda f'_1} = \frac{\pi}{2} \implies x' = \Delta x' = \frac{\lambda f'_1}{2a}$

A VOIR \implies exercices de TD sur les étoiles doubles.

c - Conséquence 2 : perte de contraste par élargissement angulaire de la source - problème de cohérence spatiale de source

Supposons maintenant que nous partions d'une source type fente infiniment fine, et que nous élargissons ensuite progressivement celle-ci jusqu'à une largeur h .

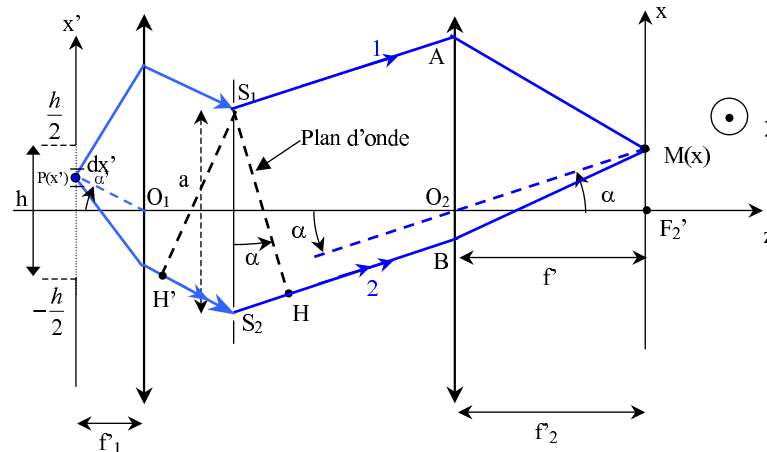


FIGURE IX.15 – Expérience des trous d'Young avec une source large

QUESTION : comment déterminer l'intensité totale recueillie sur l'écran pour cette structure de la source étendue et continue ?

Idée : dans cette configuration, chaque élément de fente source de longueur infinitésimale dx' engendre son propre système d'interférences sur l'écran puisque ces éléments juxtaposés de la fente source constituent autant de sources incohérentes. On parle alors d'une source spatialement incohérente.

Considérons un point P de cette source d'abscisse x' sur l'axe du plan de la source et de largeur dx' : chaque point P donne son propre système d'interférences

HYPOTHÈSES : on supposera $f'_1 \gg |x'|, h$ et $f'_2 \gg a, |x|, |y|$

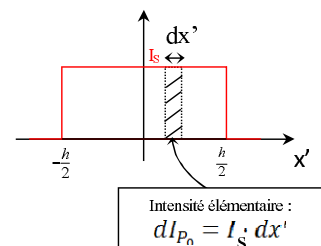
La différence de marche en $M(x)$ pour les deux ondes issues de P s'écrit :

$$\begin{aligned} \delta_p(M) &= (PM)_{\text{rayon}_2} - (PM)_{\text{rayon}_1} = (PH') + (H'S_2) + (S_2M) - (PS_1) - (S_1M) \\ &= \underbrace{(H'S_2)} + \underbrace{(S_2H)} \\ &= a \sin \alpha' \simeq a \tan \alpha' = \frac{ax'}{f'_1} = a \sin \alpha \simeq a \tan \alpha = \frac{ax}{f'_2} \end{aligned}$$

soit : $\delta_p(M) = \frac{ax'}{f'_1} + \frac{ax}{f'_2}$

L'intensité élémentaire sur l'écran donnée par l'élément $P(x')$ de largeur dx' est alors :

$$dI_P(M) = 2 \underbrace{dI_{p0}}_{\text{intensité élém. de la bande } dx'} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \delta(M) \right) \right] \quad \text{avec } dI_{p0} = I_S \cdot dx'$$



$$dI_P(M) = 2I_S dx' \times \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi\delta(M)}{\lambda} \right) \right]$$

soit :

$$dI_P(M) = 2I_S \times \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{ax'}{f'_1} + \frac{ax}{f'_2} \right) \right) \right] \cdot dx'$$

L'intensité totale sur l'écran s'obtient par simple intégration sur toute la longueur de la fente (b).

Exercice de cours: (II.2) - n° 4. Intensité sur l'écran-commentaires Montrer que l'intensité totale sur l'écran s'écrit, en appelant I_0 l'intensité totale de la fente :

$$I(x) = I_0 \times \left[1 + \text{sinc} \left(\frac{\pi ah}{\lambda f'_1} \right) \times \cos \left(\frac{2\pi ax}{\lambda f'_2} \right) \right]$$

Le contraste est donc :

$$C = |V(h)| = \left| \text{sinc} \left(\frac{\pi ah}{\lambda f'_1} \right) \right|$$

Il subit des annulations périodiques tout en étant évanescent :

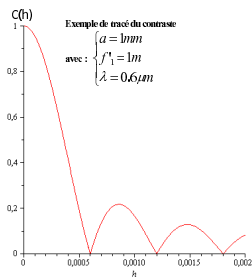


FIGURE IX.16 – Evolution du contraste lors de l'ouverture de la fente source de largeur h

CRITÈRE DE BONNE VISIBILITÉ DES FRANGES : on veut ici dégager un critère de bonne visibilité des franges lié à l'ouverture de la fente source appelé **le critère de cohérence spatiale**.

■ Approche semi-quantitative : nous avons vu dans le cas de deux sources, que l'annulation du contraste se produisait lorsque coïncidaient franges brillantes et sombres des deux systèmes distincts d'interférences i.e.

$$|\Delta p| = \frac{1}{2}.$$

Dans le cas de la fente source élargie, qui correspond à une infinité de points sources juxtaposés, il y a brouillage lorsque l'on peut associer deux à deux tous les points de la source et que la **variation d'ordre en M en passant de l'un à l'autre vérifie $|\Delta p| \geq \frac{1}{2}$** .

Pour pouvoir associer ainsi tous les points de la source, il suffit que la variation d'ordre en M soit de $\Delta p(M) = 1/2$ entre le système de frange engendré par le centre de la source et celui engendré par le point sur l'un des bords de la source, soit la moitié de l'étendue spatiale de la source..

$$|\Delta p| = \frac{a}{\lambda f'_1} \cdot \frac{h}{2} > \frac{1}{2} \quad (\text{critère de brouillage}) \implies h > \frac{\lambda f'_1}{a} = h_{lim}$$

■ Approche par le calcul de première annulation du contraste : le contraste vaut : $C = \left| \text{sinc} \left(\frac{\pi a h}{\lambda f'_1} \right) \right|$

et sa première annulation se produit pour :

$$\frac{\pi a h(lim)}{\lambda f'_1} = \pi \implies h_{lim} = \frac{\lambda f'_1}{a}$$

Au delà de cette largeur de fente, le contraste est médiocre (la fonction sinc est évanescence), et les interférences sont brouillées en tout point M de l'écran.

II.3 ... par variation de la longueur d'onde - problème de la cohérence temporelle

a - Variation d'ordre

HYPOTHÈSES :

- On reprend le montage à deux lentilles.
- on reprend également le cas d'une source ponctuelle S_0 placée au foyer objet de la première lentille, et on suppose pouvoir en changer la longueur d'onde à loisir.

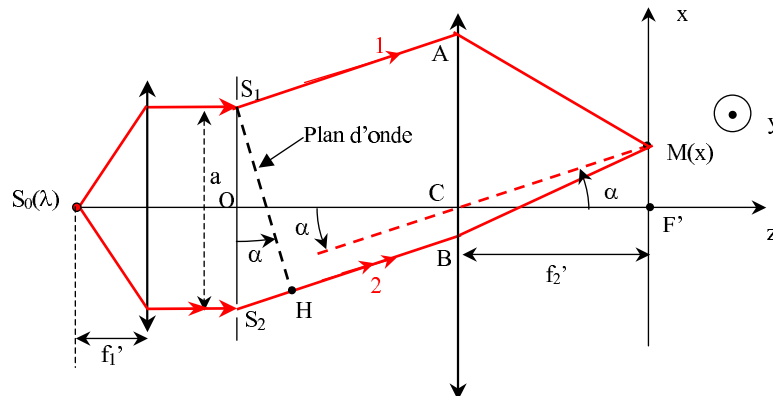


FIGURE IX.17 – Trous d'Young éclairés par une source non monochromatique

La différence de marche s'écrit toujours : $\delta(M) = a \sin \alpha \simeq a \frac{x}{f'_2}$

soit un ordre en M : $p(M) = \frac{ax}{\lambda f'_2}$

A RETENIR :

Si la source change de longueur d'onde, alors une variation $\Delta\lambda \ll \lambda$ de celle-ci entraîne (au 1^{er} ordre) une variation d'ordre de :

$$dp(M) \stackrel{x=cste}{=} -\frac{ax}{\lambda^2 f'_2} \cdot d\lambda \quad \Delta\lambda \ll \lambda_m \implies \Delta p(M) \stackrel{x=cste}{\simeq} -\frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \cdot \Delta\lambda \quad \lambda_m : \text{valeur moyenne de } \lambda \text{ sur l'intervalle spectral}$$

Remarque II-1: IMPORTANT !

- l'interfrange est cette fois modifié puisqu'il dépend de λ : $\Delta i = \frac{f'_2}{a} \cdot \Delta \lambda$
- il n'y a pas de variation d'ordre pour la frange centrale de l'écran $x = 0$: l'ordre au centre reste nul
 $p_{x=0} = 0 \forall \lambda$

Conséquence : $i = fct(\lambda)$ donc :

- si $\lambda \uparrow \rightarrow i \uparrow \Rightarrow$ dilatation de la figure d'interférences.
 - si $\lambda \downarrow \rightarrow i \downarrow \Rightarrow$ compression de la figure d'interférences.
- CF SIMULATION

On comprend dès lors que si l'on fait interférer de la lumière blanche pour laquelle les longueurs d'onde sont comprises dans l'intervalle $[0,390\mu m; 0,750\mu m]$, les différentes franges brillantes et sombres ne vont pas se superposer, engendrant un brouillage rapidement :

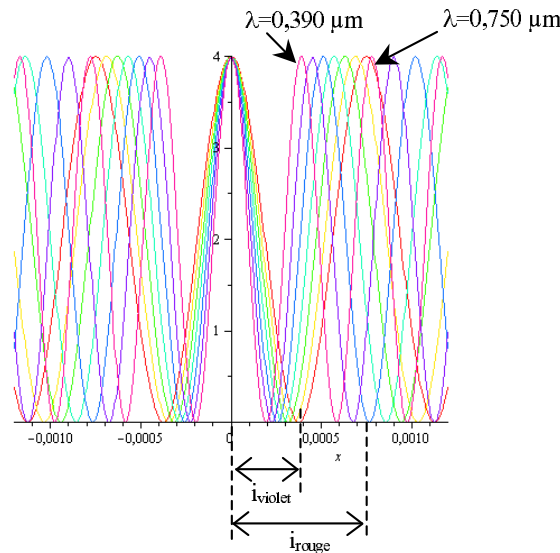


FIGURE IX.18 – Brouillage de la figure d'interférences en lumière blanche

b - Conséquence 1 : perte de contraste avec une raie double

On considère ici que la source S_0 émet deux raies de même intensité lumineuse et de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 . Chaque raie n'est évidemment pas rigoureusement monochromatique en raison de la durée finie τ_c des trains d'onde émis ($\tau_c \cdot \Delta \nu \sim 1$). On modélisera cependant ce doublet par des raies infiniment fines, en choisissant pour le calcul d'introduire une nouvelle variable spectrale : le nombre d'onde $\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$:

EXEMPLES :

- lampe à mercure $\lambda_1 = 579 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 577 \text{ nm}$
- lampe à sodium $\lambda_1 = 589,6 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589 \text{ nm}$

QUESTION : allure de l'interférogramme ???

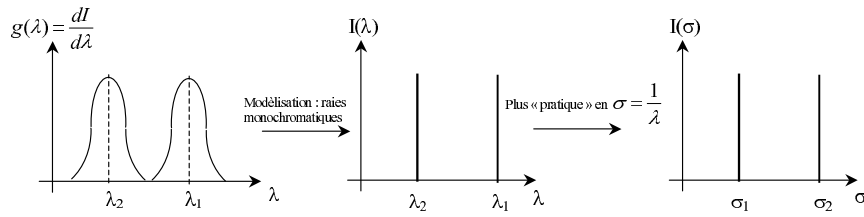


FIGURE IX.19 – Modélisation des raies doubles

Les trains d'onde sont émis par deux raies distinctes non isochrones, et possède des phases à l'origine aléatoires : **pas de cohérence**.

Les deux raies sont donc incohérentes, et les systèmes de franges donnés par chacune d'entre-elles vont se superposer ; il convient donc ici encore une fois de sommer les intensités données par chaque raie en tout point M pour lequel la différence de marche est $\delta(M)$, soit :

$$I(M) = I_{\lambda_1}(M) + I_{\lambda_2}(M)$$

$$I(\delta(M)) = 2I_{01} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \delta(M) \right) \right] + 2I_{02} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_2} \delta(M) \right) \right]$$

les intensités des sources étant identiques, on a $I_{01} = I_{02} = I_0$ d'où :

$$I(\delta(M)) = 2I_0 \left[2 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} \delta(M) \right) + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_2} \delta(M) \right) \right]$$

Posons les **nombre d'onde** des deux raies soit $\sigma_1 = \frac{1}{\lambda_1}$ et $\sigma_2 = \frac{1}{\lambda_2}$; il vient alors :

$$I(\delta(M)) = 2I_0 [2 + \cos(2\pi\sigma_1\delta(M)) + \cos(2\pi\sigma_2\delta(M))]$$

On transforme facilement cette dernière expression :

$$I(\delta(M)) = 4I_0 [1 + \cos(\pi(\sigma_1 - \sigma_2)\delta(M)) \times \cos(\pi(\sigma_1 + \sigma_2)\delta(M))]$$

On pose généralement la différence de nombre d'onde :

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1\lambda_2} \stackrel{\Delta\lambda \ll \lambda_i \ i=\{1,2\}}{\simeq} \frac{\Delta\lambda}{\lambda_m^2}$$

ainsi que la valeur moyenne du nombre d'onde des deux raies :

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right) \simeq \frac{2\lambda_m}{2\lambda_m^2} \simeq \frac{1}{\lambda_m}$$

l'intensité en $M(x)$ devenant alors :

$$I(\delta(M)) = 4I_0 \left[1 + \cos \left(\pi \frac{\Delta\lambda}{\lambda_m^2} \frac{ax}{f_2'} \right) \times \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_m} \frac{ax}{f_2'} \right) \right]$$

soit :

$$I(\delta(M)) = 4I_0 \left[1 + V(M) \times \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_m} \frac{ax}{f'_2} \right) \right] \quad (\text{IX.1})$$

en posant la visibilité $V(M) = \cos \left(\pi \frac{\Delta\lambda}{\lambda_m^2} \frac{ax}{f'_2} \right)$ et la longueur moyenne $\lambda_m = \frac{1}{\sigma_m}$.

Le contraste est donc : $C = |V(M)| = \left| \cos \pi \frac{\Delta\lambda}{\lambda_m^2} \frac{ax}{f'_2} \right|$.

COMMENTAIRES : le contraste est une fonction périodique de la différence de marche et qui peut s'annuler.

ANALYSE DE LA PERTE DE CONTRASTE

On propose comme précédemment deux approches :

- Approche semi-quantitative :

Les deux systèmes de franges n'ont pas le même interfrange $\begin{cases} i_1 = \frac{\lambda_1 f'_2}{a} \\ i_2 = \frac{\lambda_2 f'_2}{a} \end{cases} \Rightarrow$ ils se décalent au fur et à mesure que $\delta \uparrow$ et engendrent une périodicité des anticoincidences.

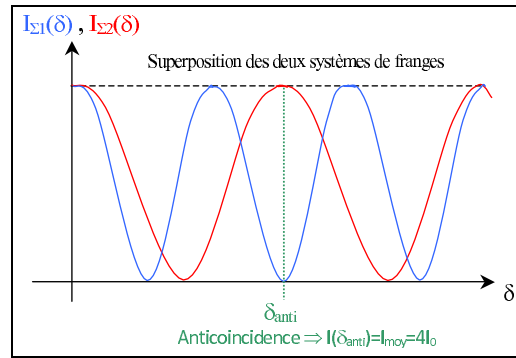


FIGURE IX.20 – Décalage des systèmes de franges pour une raie double

La première situation d'anticoincidence correspond évidemment à une variation d'ordre de $1/2$ au point M lorsque l'on passe du système de franges de la raie 1 au système de franges de la raie 2, soit :

$$|\Delta p_{\lambda_1 \leftrightarrow \lambda_2}(M)| = \frac{1}{2} \quad (\text{critère de brouillage}) \quad \text{à } x \text{ fixé}$$

soit $\frac{ax_{1^{\text{ere}}_{\text{anti}}}}{\lambda_m^2 f'_2} \cdot \Delta\lambda = \frac{1}{2}$ d'où les positions : $x_{1^{\text{ere}}_{\text{anti}}} = \frac{\lambda_m^2 f'_2}{2a\Delta\lambda}$

- APPROCHE FORMELLE : \rightarrow on retrouve les différences de marche engendrant l'anticoincidence en recherchant l'annulation du contraste :

$$C = |\cos(\pi\Delta\sigma\delta)| = 0 \Rightarrow \pi\Delta\sigma\delta = \left(p + \frac{1}{2}\right)\pi \Rightarrow \delta_p = \left(p + \frac{1}{2}\right) \frac{1}{\Delta\sigma} = \left(p + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda_m^2}{\Delta\lambda} \quad (p \in \mathbb{Z})$$

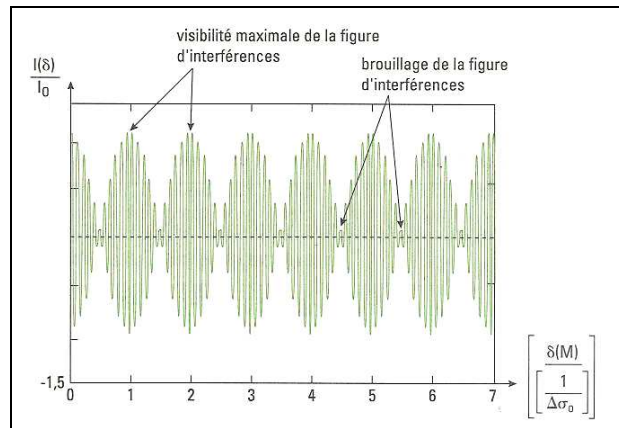


FIGURE IX.21 – Profil d'interférences obtenu avec une raie double

Les positions successives d'annulation de contraste sur l'écran sont donc :

$$\frac{ax}{f'_2} = \left(p + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_m^2} \Rightarrow x_p = \left(p + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda_m^2 f'_2}{a\Delta\lambda}$$

c - Conséquence 2 : perte de contraste par élargissement spectral de la source

On envisage toujours le même montage des trous d'Young, mais cette fois avec une source polychromatique dont le spectre est une raie large (spectre réaliste !). Ces raies larges correspondent en général à deux cas classiques : allure gaussienne due à l'effet Doppler (lampe à haute température), allure lorentzienne due à la fréquence des chocs (lampe à haute pression). Afin de simplifier l'approche, on propose de les modéliser de la façon suivante :

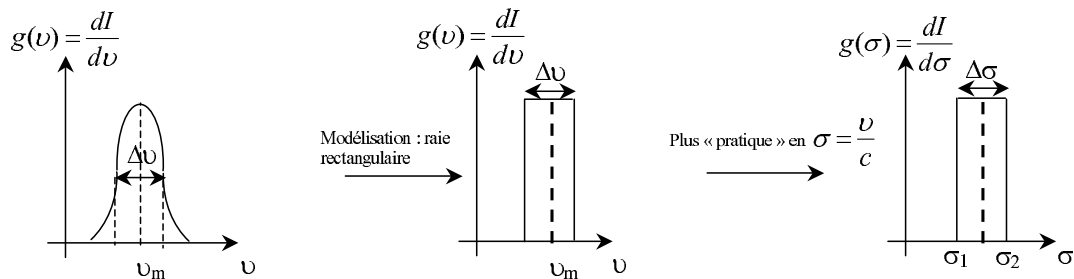


FIGURE IX.22 – Modélisation d'une raie large

Là-encore, le profil spectral de la source sera donné en nombre d'onde et non en fréquence. Ceci n'a rien de gênant, le passage de l'un à l'autre étant directement proportionnel à $\frac{1}{c}$: $\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$

- On appelle $\Delta\sigma$ la largeur spectrale totale.
- L'intensité totale délivrée par la source (comprenant toutes les composantes du spectre) est notée I_0 . Par conséquent, l'intensité spectrale $g(\sigma)$, ici constante, est :

$$g(\sigma) = \frac{I_0}{\Delta\sigma}$$

IDÉE : les différentes bandes spectrales élémentaires $[\sigma, \sigma + d\sigma]$ ne sont pas cohérentes entre-elles, et chacune engendrera donc son propre système d'interférences.

Chaque bande spectrale élémentaire $(\sigma, \sigma + d\sigma)$ de largeur $d\sigma$ correspond donc à une intensité élémentaire émise :

$$dI_0 = \frac{I_0}{\Delta\sigma} d\sigma$$

et va donner son propre système d'interférences. En effet, les bandes élémentaires sont incohérentes entre-elles puisque de fréquences différentes.

En un point M de l'écran pour lequel la différence de marche est $\delta(M)$, l'intensité donnée par une bande spectrale :

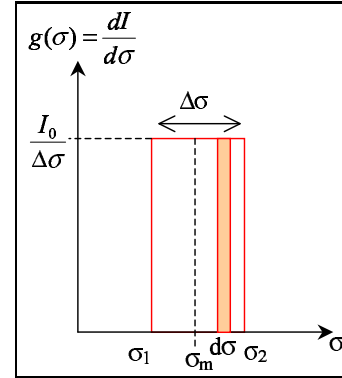


FIGURE IX.23 – Profil spectral rectangulaire

$$dI(M) = 2dI_0 [1 + \cos [2\pi\sigma\delta(M)]]$$

soit :

$$dI(M) = 2\frac{I_0}{\Delta\sigma} [1 + \cos [2\pi\sigma\delta(M)]] d\sigma$$

En sommant les intensités de l'ensemble de la bande spectrale rectangulaire au point M , il vient :

$$I(M) = 2\frac{I_0}{\Delta\sigma} \int_{\sigma_m - \frac{\Delta\sigma}{2}}^{\sigma_m + \frac{\Delta\sigma}{2}} [1 + \cos (2\pi\sigma\delta(M))] \times d\sigma$$

L'intégration est immédiate est donne sans peine :

$$I(M) = 2\frac{I_0}{\Delta\sigma} \left[\sigma + \frac{\sin(2\pi\sigma\delta(M))}{2\pi\delta(M)} \right]_{\sigma_m - \frac{\Delta\sigma}{2}}^{\sigma_m + \frac{\Delta\sigma}{2}}$$

qui donne immédiatement :

$$I(M) = 2\frac{I_0}{\Delta\sigma} \left[\Delta\sigma + \frac{\sin [2\pi\delta(M) (\sigma_m + \frac{\Delta\sigma}{2})] - \sin [2\pi\delta(M) (\sigma_m - \frac{\Delta\sigma}{2})]}{2\pi\delta(M)} \right]$$

soit après une manipulation trigonométrique élémentaire :

$$I(M) = 2\frac{I_0}{\Delta\sigma} \left[\Delta\sigma + \frac{2 \sin (\pi\Delta\sigma\delta(M)) \times \cos (2\pi\sigma_m\delta(M))}{2\pi\delta(M)} \right]$$

d'où :

$$I(M) = 2I_0 \left[1 + \frac{\sin (\pi\Delta\sigma\delta(M))}{\pi\Delta\sigma\delta(M)} \times \cos (2\pi\sigma_m\delta(M)) \right]$$

et enfin :

$$I(x) = 2I_0 \left[1 + \frac{\sin \left(\pi \Delta \lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \right)}{\pi \Delta \lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2}} \times \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_m} \frac{ax}{f'_2} \right) \right]$$

En posant la fonction "degré de cohérence temporelle" i.e. la visibilité $V(x)$:

$$V(x) = \frac{\sin \left(\pi \Delta \lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \right)}{\pi \Delta \lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2}} = \text{sinc} \left(\pi \Delta \lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \right)$$

L'intensité s'écrit donc :

$$I(\delta(x)) = 2I_0 \left[1 + V(x) \times \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_m} \frac{ax}{f'_2} \right) \right] \quad (\text{IX.2})$$

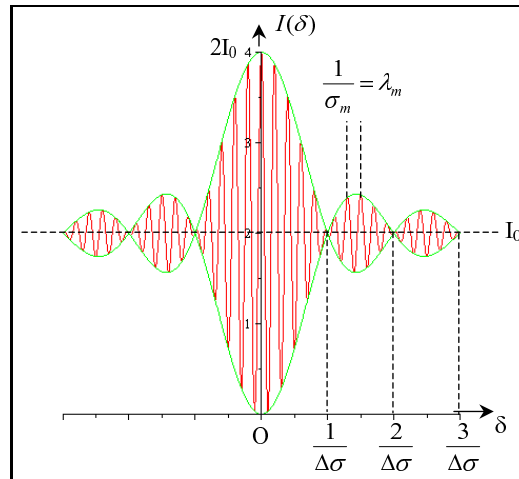


FIGURE IX.24 – Intensité lumineuse dans le cas d'une raie large

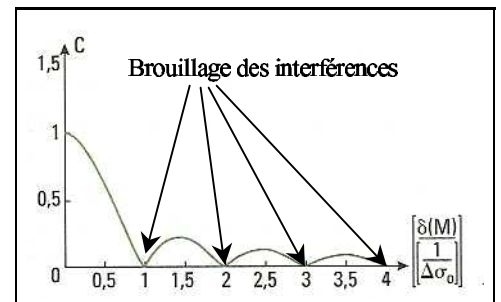
Le contraste est donc :

$$C = |V(x)| = \left| \text{sinc} \left(\pi \Delta \lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \right) \right|$$

Il subit des annulations périodiques tout en étant évanescent :

On constate comme dans le cas du doublet traité plus haut, que le contraste module la figure d'interférences et **passé par des annulations successives**. Les valeurs annulant C entraînent alors un brouillage des franges :

$$C = 0 \Leftrightarrow \pi \Delta \sigma \delta(M) = p\pi \Leftrightarrow \delta_{ann_p}(M) = \frac{p}{\Delta \sigma}$$



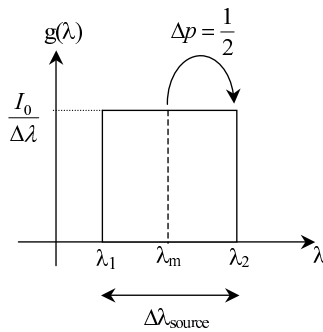
soit en variable réduite u : $u = \frac{\delta(M)}{\frac{1}{\Delta\sigma}} = p$ avec $p \in \mathcal{Z}$

Exercice de cours: (II.3) - n° 5. A partir de quelle largeur spectrale $\Delta\lambda$ a-t-on brouillage en un point M fixe de l'écran ?

RÉPONSE : toujours et encore 2 approches possibles pour dégager le critère d'annulation de contraste lié à la largeur spectrale, appelé ici **critère de cohérence temporelle**.

- Approche semi-quantitative : nous avons vu dans le cas d'un doublet, que l'annulation du contraste en un point M se produisait lorsque coïncidaient franges brillantes et sombres des deux systèmes distincts d'interférences i.e. $\Delta p_{\lambda_1 \leftrightarrow \lambda_2}(M) = \frac{1}{2}$.

Dans le cas d'un profil spectral large qui correspond à une infinité de bandes spectrales élémentaires juxtaposées, on pourra retenir comme critère qu'il y a brouillage pour $\Delta p > \frac{1}{2}$ lorsque l'on considère la variation d'ordre en M en passant du centre du spectre à une bande spectrale située sur l'une des extrémités du spectre, soit la moitié de l'étendue spectrale de la source $\Delta\lambda = \frac{\Delta\lambda_{source}}{2}$:



$$|\Delta p(M)| \stackrel{x=cste}{\simeq} \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \cdot \frac{\Delta\lambda_{source}}{2} > \frac{1}{2} \quad (\text{critère de brouillage}) \quad \Rightarrow \quad \Delta\lambda_{source} > \frac{\lambda_m^2 f'_2}{ax}$$

- Approche quantitative par calcul de première annulation du contraste :

Le contraste $C = |V(x)| = \left| \text{sinc} \left(\pi \Delta\lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} \right) \right|$ subit sa première annulation lorsque :

$$\pi \Delta\lambda \frac{ax}{\lambda_m^2 f'_2} = \pi \quad \Rightarrow \quad \Delta\lambda_{source}(lim) = \frac{\lambda_m^2 f'_2}{ax}$$

Au delà de cette largeur spectrale, le contraste est médiocre (la fonction sinc est évanescence), l'interférence est brouillée en $M(x)$.

COMPLÉMENT : quelques infos sur les TP → mesure de longueur de cohérence. (en Live!!!)