

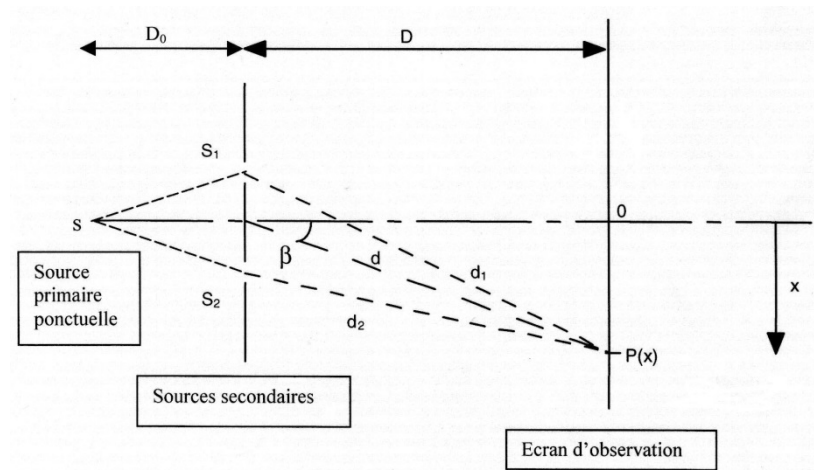
COHERENCE SPATIALE

Avant de lire la suite il est recommandé de revoir le cours et les TD sur les fentes d'Young ainsi que l'introduction du poly de TP sur les sources synchrones et interférences à deux ondes.

I.	GENERALITES SUR LA COHERENCE SPATIALE	44
A.	VISIBILITE (OU CONTRASTE) :	46
B.	CONCLUSION	47
II.	DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET MANIPULATIONS.....	48
A.	INVENTAIRE DU MATERIEL	48
B.	INTERFERENCES ET DIFFRACTION	48
1.	<i>Diffraction</i>	48
2.	<i>Interférences à deux ondes</i>	49
C.	INSTALLATION DU DISPOSITIF D'ETUDE DE LA COHERENCE SPATIALE	49
1.	<i>Visualisation avec une barrette CCD</i>	50
2.	<i>Observations qualitatives</i>	50
3.	<i>Mesures – Comparaison expérience théorie</i>	50

I. GENERALITES SUR LA COHERENCE SPATIALE

Les calculs des fonctions décrivant la diffraction par un objet et les interférences à N ondes sont effectués avec l'hypothèse que la source de lumière est ponctuelle. Cependant, les sources de lumière sont rarement ponctuelles (même un laser) mais présentent plutôt une taille finie (comme le soleil !). Par ailleurs, les processus de production de la lumière correspondent, le plus souvent, à des désexcitations conduisant à **l'émission aléatoire** de photons (émission spontanée). Les ondes associées aux différents photons n'ont donc, à priori, aucune relation de phase particulière. Donc les ondes associées aux photons émis au même instant $-t-$, à partir de plusieurs points d'une même source présenteront un déphasage $\Delta\phi$ aléatoire. Cependant, si on sélectionne une petite zone $-s-$ de la source de lumière (source étendue), en plaçant par exemple un écran percé d'un trou de petite taille après la source, les variations de phase sur cette surface $-s-$ ne sont pas suffisantes pour annihiler les interférences. Il faut pour comprendre cela envisager le système global (trou source + système interférentiel). On prendra comme système interférentiel modèle les Fentes d'Young.

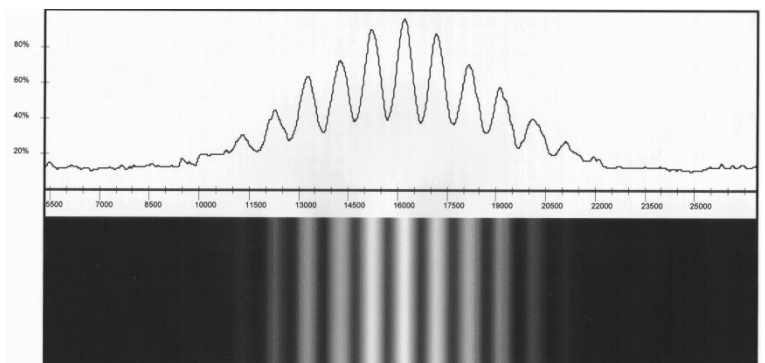


On rappelle que pour la figure d'interférence observée avec des fentes d'Young :

- La position angulaire des extinctions dues à la diffraction par une fente est : $\sin \beta = \frac{k_d \lambda}{L}$
- La position angulaire des maxima d'interférences est : $\sin \beta = \frac{k_i \lambda}{2a}$
- L'interfrange est : $i = \frac{\lambda D}{2a}$

avec k_d et k_i , les ordres pour la diffraction et les interférences, D la distance fente écran, L la largeur de fente et $2a$ la distance entre fentes.

On obtient alors une figure de diffraction de ce type :



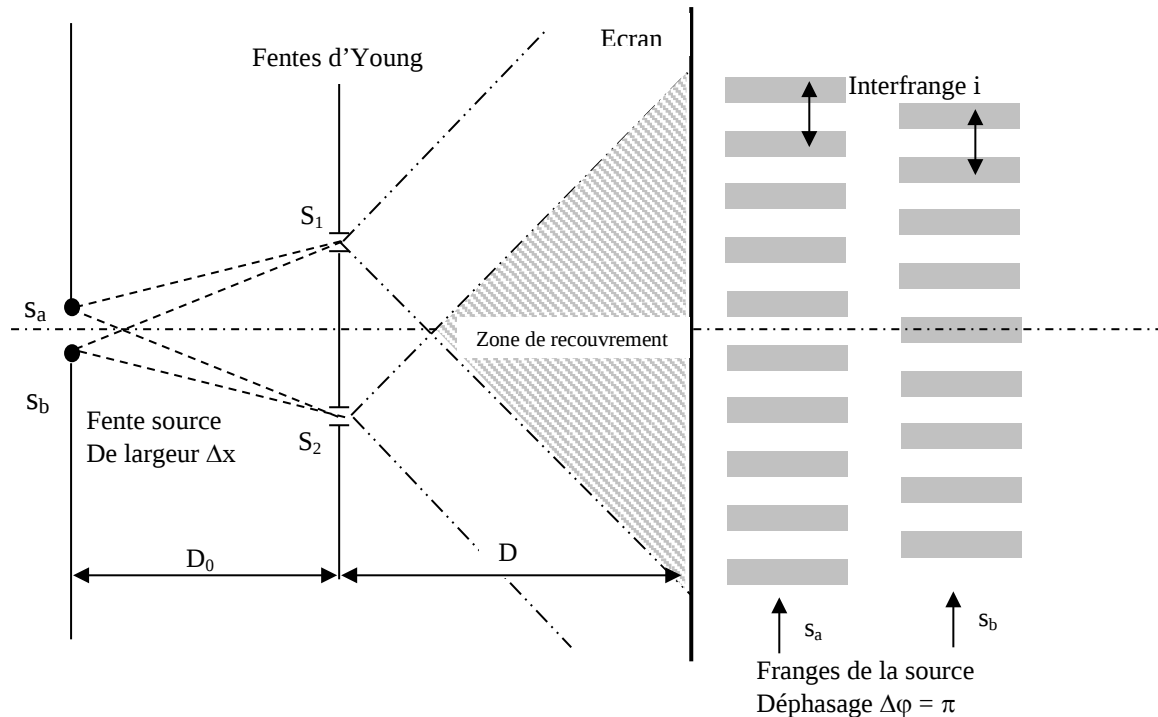
« Le trou source » (s) est une source de lumière (source primaire) pour les éléments optiques placés en « aval » et donc pour les Fentes d'Young. Chaque fente (S_1, S_2) des Fentes d'Young est une source secondaire émettant chacune une onde considérée comme plane au niveau de l'écran d'observation. Le phénomène d'interférences à deux ondes dépend en priorité de la relation de phase (ou différence de marche) entre ces deux ondes, au point d'observation (P) :

- Si la différence de phase entre les deux ondes est constante (source primaire ponctuelle) alors on peut observer des interférences constructives et destructives, c'est à dire une modulation de l'intensité lumineuse en fonction de la position d'observation sur l'écran (cf. TP de L2 Fentes d'Young) (cf. Interféromètre de Michelson, $I \sim I_0 \cos^2(x)$). Les sources secondaires sont cohérentes, on peut donc sommer les amplitudes des ondes au point d'observation P.
- Si, comme pour une source étendue, la différence de phase, entre les deux ondes au point d'observation (P), est quelconque, c'est à dire aléatoire dans le temps, on perd alors la possibilité d'observer des interférences constructives et destructives : l'écran est uniformément éclairé. Cela est dû au fait que chaque point de la source étendue n'a aucune relation de phase avec les points voisins, les sources secondaires ne sont pas cohérentes, on ne peut donc pas sommer, en P, les amplitudes des ondes mais uniquement les intensités.

Prenons l'exemple d'une source étendue que l'on découpe en deux sources élémentaires, s_a et s_b , séparées de Δx : chaque source élémentaire produit son propre système de franges, indépendamment de l'autre source. On peut montrer que le déphasage en P dû à l'écart Δx entre les sources est au premier ordre :

$$\Delta\Phi = 2\pi \delta\theta \frac{\Delta x}{\lambda} \quad \text{avec} \quad \delta\theta = \frac{2a}{D_0}$$

On remarquera que $\frac{\Delta x}{D_0}$ est l'angle sous lequel (s_a, s_b) sont vues depuis les Fentes d'Young



On voit alors que la superposition des deux systèmes de franges issus de s_a et s_b , entraîne un brouillage des franges et donc la perte de visibilité (contraste) : l'écran est uniformément éclairé.

A. VISIBILITE (OU CONTRASTE) :

On rappelle que l'intensité lumineuse $I(x,y)$ en un point P de l'écran, de coordonnées (x,y) , est proportionnelle au carré de l'amplitude résultante $A_r(x,y)$, avec $A_r(x,y)$ la somme des amplitudes des ondes mesurées au point P(x,y).

$$A_r(x,y) = \sum_k A_k(x,y) \text{ et } I(x,y) \sim [A_r(x,y)]^2$$

Dans le cas des interférences à 2 ondes (fentes d'Young ou Michelson), on observe des franges alternativement claires puis sombres, qui correspondent à un éclairage respectivement maximum ($I_{\max}$) ou minimum ($I_{\min} = 0$). La perte de cohérence spatiale entraîne une diminution du contraste (ou visibilité) entre les franges. Dans ce cas l'éclairage passe progressivement de ($I_{\max}$) à ($I_{\max}/2$) pour les franges claires et de (0) à ($I_{\max}/2$) pour les franges sombres. Finalement l'écran est uniformément éclairé lorsque le contraste est nul.

Il est possible de calculer la valeur de l'intensité lumineuse (éclairage) au point P de l'écran en sommant les contributions à l'amplitude en P de chaque fente élémentaire. On trouve alors :

$$I(P) = I_0 \left[1 + \frac{\sin(ms) \cos(m's)}{(ms)} \right] \quad \text{avec :}$$

$$m = \frac{\pi(2a)}{\lambda D_0}$$

$2a$: distance entre les sources secondaires S_1 et S_2

i.e. distance entre fentes.

$$m' = \frac{2\pi(2a)}{\lambda D}$$

D_0 : distance fente source-fentes d'Young

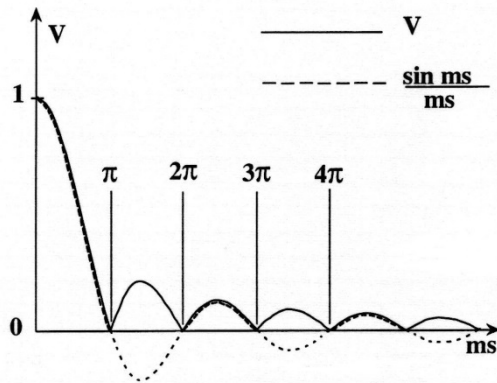
D : distance fentes d'Young-écran.

La visibilité V (ou contraste) est définie par :

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

V devient alors :

$$V = \left| \frac{\sin(ms)}{ms} \right|$$



On observe dans cette courbe des « lobes de visibilité » séparés par des « zéro de visibilité ». Le passage d'un « lobe de visibilité » au suivant se caractérise par une inversion de contraste. Ces particularités feront l'objet d'observations et de mesures quantitatives dans le TP.

B. CONCLUSION

On a vu que la cohérence spatiale était liée à la taille de la source primaire utilisée pour former des interférences. On retiendra donc que :

- une source étendue présentera une mauvaise cohérence spatiale
- une source « ponctuelle » présentera une bonne cohérence spatiale
- la perte de cohérence se manifeste, entre autre, par une diminution du contraste entre les franges d'interférences

On peut également ajouter qu'une source qui présente une **bonne cohérence spatiale** donnera lieu à des interférences dans tout l'espace où les rayons se recouvrent pour interférer : on dit alors que **les figures d'interférences ne sont pas localisées**.

A contrario, une source qui présente **une mauvaise cohérence spatiale donnera lieu à des interférences localisées** : la visibilité est nulle sauf dans une petite portion d'espace où l'on peut observer les figures d'interférences (cf. TP interféromètres de Michelson et Fabry-Perrot).

La taille apparente d'une source dépend en fait de la distance entre l'observateur et la source : une étoile est une source de lumière de grande taille (comme le soleil) mais vue de la terre elle apparaît ponctuelle. On peut donc réaliser des interférences avec comme source une étoile. Le critère pertinent pour la cohérence spatiale est donc l'angle sous lequel est vue la source depuis le système qui permet de réaliser les interférences (fentes d'Young par exemple). Cet angle dépend des deux variables : dimensions de la source et distance d'observation. Dans une salle de TP les distances d'observation possibles sont nécessairement limitées, donc nous travaillons essentiellement en faisant varier la taille de la source.

Remarque : les lasers sont des sources qui présentent une bonne cohérence à la fois temporelle et spatiale. Ceci est lié au mode de production des photons, par émission stimulée.

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET MANIPULATIONS

On souhaite dans ce TP mettre en évidence la cohérence spatiale d'une source. Le dispositif interférentiel utilisé est basé sur les fentes d'Young : on va donc dans une première partie (§II-B) utiliser un laser et un jeu de fentes (simples et bifentes d'Young) pour observer les phénomènes de diffraction et d'interférences à deux ondes.

Dans la seconde partie du TP on utilisera une source étendue (lampe spectrale à vapeur de sodium) pour éclairer une fente de largeur réglable (source ponctuelle ou étendue). Cette fente devient une source (primaire) pour les éléments placés en aval. On pourra faire varier la taille de la source (sa largeur en fait) sur une large gamme de valeurs (0,1 à 4 mm). On placera ensuite les fentes d'Young et, pour visualiser les franges d'interférences, on utilisera un écran, un oculaire micrométrique ou un capteur CCD.

A. INVENTAIRE DU MATERIEL

Vous disposez dans ce montage du matériel suivant :

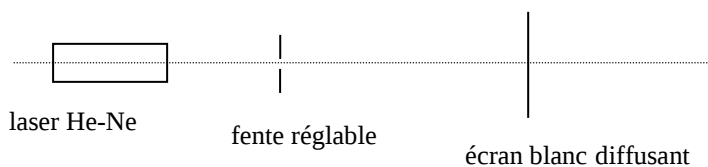
- un banc optique (2 mètres).
- un laser He-Ne ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$)
- une lampe spectrale à vapeur de sodium ($\lambda = 589 \text{ nm}$) et d'un condenseur
- de 2 fentes source de largeur réglable (1 avec vis micrométrique) et de hauteur « infinie »
- de plusieurs jeux de fentes sur diapo.
- de bi-fentes d'Young dont les caractéristiques sont : $s = 74,2 \text{ }\mu\text{m}$, $2a = 556 \text{ }\mu\text{m}$
- de plusieurs récepteur : écran blanc et une barrette CCD avec son alimentation.
- d'un ordinateur pour l'acquisition et l'enregistrement des données de la barrette CCD.

Les éléments optiques sont placés sur des pieds d'optique qui permettent de régler leur position.

B. INTERFERENCES ET DIFFRACTION

1. Diffraction

Vous utiliserez le montage suivant :



- Aligner les éléments sur le banc optique (prendre la fente de largeur réglable « non micrométrique »)
- Observer la figure de diffraction et faire varier la largeur de la fente :

Décrire ce que vous observez : faire un dessin du montage avec les grandeurs caractéristiques. Dessinez de l'évolution des figures de diffraction en fonction de la largeur de fente. Se reporter au chapitre d'introduction pour l'interprétation.

- Conserver la distance fente-écran constante et déplacer la source laser.

Qu'observez vous ?

- Faire varier la distance fente-écran et interpréter.

2. Interférences à deux ondes

Placez maintenant la diapositive contenant différents jeux de doubles fentes (fentes d'Young), en conservant D constant (choisir parmi les différentes diapos).

- Pour les différentes valeurs de la distance entre les fentes, dessinez ce que vous observez et interprétez.

Repérez en particulier les extinctions dues à la fonction d'interférences (interfranges) et celles dues à la diffraction. Comparer (par superposition) les figures correspondant aux différents jeux de fentes.

- Faites une mesure de l'interfrange et comparez à la valeur théorique, $i = \frac{\lambda D}{2a}$

Facultatif : Utilisez la diapo contenant une série de fentes identiques avec pour nombre de fentes, $N = 2, 3, \dots$, toujours en conservant D constant.

- Pour les différentes valeurs de N, dessinez ce que vous observez et interprétez. Comparez la position des différents ordres d'interférence (en particulier les maxima principaux i.e. les centres des « tâches » les plus intenses) et conclure.

C. INSTALLATION DU DISPOSITIF D'ETUDE DE LA COHERENCE SPATIALE

- Allumer la lampe spectrale à vapeur de sodium et l'installer en bout de banc.
- Placer l'écran à l'autre extrémité du banc, et aligner la source.
- Positionner le condenseur de façon à former l'image de la lampe source sur l'écran en bout de banc. Placer l'écran gris afin de limiter la lumière parasite.
- Placer ensuite les éléments suivant, un par un, en prenant soin de régler l'alignement optique de CHACUN des éléments. Tous ces éléments doivent être alignés afin d'optimiser l'éclairement sur l'écran : rappelez-vous que la lumière se propage en ligne droite (dans un milieu homogène et isotrope) et n'effectue donc pas de slalom. Il faut en particulier vérifier que tous les éléments sont bien à la même hauteur.
- Pour s'assurer que chaque élément est bien aligné, on peut le translater sur le banc, de la source vers l'écran : si l'image (la lumière) ne reste pas centrée sur l'écran, l'alignement n'est pas bon.
- Ouvrir la fente source ($s = 2-3 \text{ mm}$) de la façon à augmenter l'intensité en aval.
- Placer les fentes d'Young de façon à ce qu'elles soient bien éclairées sur toute leur surface.
- Vérifier le parallélisme fente source / fentes d'Young. Le régler si nécessaire (molette sur le support des fentes d'Young).
- Fermer la fente source lentement tout en observant directement « à l'œil », juste après les fentes d'Young : vous devez observer des franges d'interférences.
- Si vous n'observez pas de franges augmentez la distance fente source / fentes d'Young tout en observant soit directement après les fentes d'Young soit dans l'oculaire micrométrique Sinon reprenez l'alignement.

Prenez soin de noter et de décrire précisément vos observations à chacune de ces étapes : vous gagnerez du temps !

Lorsque vous obtenez un système de franges bien contrasté vous pouvez passer à l'étape suivante.

1. Visualisation avec une barrette CCD.

- Placer la barrette CCD à la place de l'écran.
- Placer le tube noir devant la barrette CCD : il sert à limiter la lumière parasite.
- Allumer l'alimentation de la barrette CCD.
- Allumer l'ordinateur. Créer un dossier à votre nom dans : C:\mes documents\L3ScPhy\votre_nom , afin d'y enregistrer les graphes $I(x)$
- Cliquer sur l'icône CALIENS pour lancer le programme d'acquisition.
- Dans la barre de menu du logiciel CALIENS cliquer sur l'icône « temps réel » : vous devez obtenir la courbe $I(x)$ donnant la répartition d'intensité sur la caméra CCD. Augmenter la sensibilité jusqu'à 15. Afficher la courbe en plein écran.

Le détail des différentes fonctions du logiciel est disponible sur la table de TP.

2. Observations qualitatives

Choisir une largeur de fente s et une distance fente source / fentes d'Young (D_0) qui permettent d'obtenir un système de franges bien contrasté. Lorsque l'alignement est correct, la translation sur le banc de la fente source et/ou des fentes d'Young ne doit pas engendrer de déplacement notable de la figure d'interférence ($< \lambda$ à une frange). Les observations se font avec la barrette CCD, sur l'écran de l'ordinateur.

- Noter la valeur de $s = s_0$.
- Placer un index sur la frange centrale.
- Déplacer la fente source latéralement, dans son plan. Observation ?
- Augmenter lentement la largeur s de la fente source. Observation ?
- Augmenter s jusqu'à la perte de visibilité. Noter la valeur de $s = s_1$.
- Augmenter encore la largeur s de la fente source. Observation ?

Ne pas dépasser $s = 4 \text{ mm}$.

Décrire précisément vos observations et commenter. Interpréter en assimilant une fente large à une juxtaposition de fentes étroites donnant chacune son propre système de franges.

Ramener la largeur de fente à la valeur $s = s_1$

- Augmenter la distance fente source / fentes d'Young (D_0). Observation ?
- Diminuer la distance fente source / fentes d'Young (D_0). Observation ?

Décrire précisément vos observations et commenter. Interpréter.

3. Mesures – Comparaison expérience théorie

- Choisir une valeur de $D_0 = (D_0)_1$ et revenir à la valeur de $s = s_0$. Enregistrer le graphe $I_1(x)$.
- Augmenter lentement la valeur de s jusqu'à la perte de visibilité $\rightarrow (s)_1$ pour le premier zéro de visibilité.
- Augmenter lentement la valeur de s et observer l'inversion de contraste. Enregistrer le graphe $I_2(x)$.

- Augmenter encore la valeur de s jusqu'à la perte de visibilité $\rightarrow (s)_2$ pour le second zéro de visibilité.
- Augmenter encore la valeur de s . Observation ?
- Imprimer la figure avec les deux graphes $I_1(x)$ et $I_2(x)$ superposés. Remplir le champ « commentaire » avec les valeurs $(s_0, (D_0)_1, (s)_1, (s)_2)$. On peut imprimer en couleur et en format « paysage »
- Montrer que ces valeurs expérimentales correspondent bien aux zéros de la loi en $\left| \frac{\sin(ms)}{(ms)} \right|$.

Décrire précisément vos observations et commenter. Conclure.

Ranger soigneusement le matériel en bout de banc à la fin des opérations.

