

# LP33 - Interférences à deux ondes en optique

Cléments (COLLÉAUX et DE LA SALLE)

12 juin 2020

## Niveau : L2

## Bibliographie

<i>J'intègre MP / MP*</i> , <b>Salamito, Sanz</b>	La base
<i>Optique physique</i> , <b>Taillet</b>	
<i>Optique</i> , <b>Houard</b>	Fentes d'Young
<i>Ondes lumineuses</i> , <b>Champeau</b>	Explications claires sur la cohérence

## Prérequis

- Intensité lumineuse
- Chemin optique

## Expériences



## Table des matières

Table des matières	1
<b>1 Conditions d'interférence</b>	<b>2</b>
1.1 Processus de détection . . . . .	2
1.2 Superposition de deux ondes monochromatiques . . . . .	3
1.3 Notion de cohérence . . . . .	4
<b>2 Fentes d'Young</b>	<b>5</b>
2.1 Dispositif expérimental et observations . . . . .	5
2.2 Modélisation . . . . .	6
2.3 Retour sur l'expérience . . . . .	7
<b>3 Source réelle</b>	<b>8</b>
3.1 Étalement spatial . . . . .	8
3.2 Étalement spectral . . . . .	10

# Introduction quant à l'utilisation de l'outil numérique

Dans cette leçon, il est particulièrement bien venu d'illustrer son propos à l'aide d'animations python ou de simulations en général. Par exemple, l'obtention du spectre canelé se fait grâce à un programme python, et on utilise une animation pour visualiser la notion de contraste.

L'outil numérique possède une très forte utilité pédagogique, et rend la compréhension des nouvelles notions particulièrement rapide et agréable.

## 1 Conditions d'interférence

### 1.1 Processus de détection

✦ *Champeau*

En optique, les détecteurs (oeil, caméra CCD, photodiode, capteur photoélectrique...) sont sensibles à l'intensité lumineuse.

#### Rappel

L'intensité d'une onde électromagnétique est définie comme la moyenne temporelle de la norme du vecteur de POYNTING :

$$I = \langle ||\pi|| \rangle_T$$

Dans le cas d'une onde plane progressive, cela donne

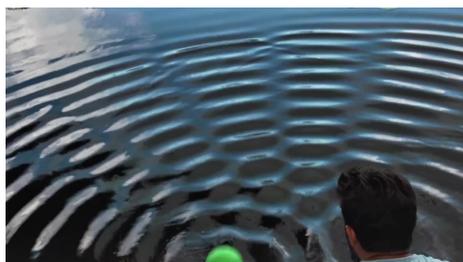
$$I = nc\epsilon_0 \langle ||\mathbf{E}^2|| \rangle_T$$

Le temps de moyennage dépend du capteur :

Capteur	Temps de moyennage
Oeil	$10^{-2}$ s
Plaque photographique	$10^{-3}$ s
Photomultiplicateur	$10^{-9}$ s
Photodiode	$10^{-12}$ s

Cela signifie par exemple, qu'un mouvement qui dure moins de 10 ms ne pourra pas être décomposé et bien interpréter par l'oeil humain... On verra une trace floue. C'est assez intuitif, par exemple lorsque l'on prend une phot d'un corps en mouvement.

Bref tout cela est important, car dans le cas de la lumière  $\lambda \in [400, 800]$  nm, les vibrations ont une période  $T = \lambda/c \sim 10^{-15}$  s. Ainsi, aucun des détecteurs cités précédemment n'est en mesure de capter chaque vibration. On peut considérer que la moyenne se fait donc sur un grand nombre d'oscillations...



Moyenné sur 100 ms



Moyenné sur 3s

FIGURE 1.1 – Voici un exemple plus proche de la leçon... Cela donne une idée de la forme des figures d'interférence. Merci à Pascal et Laura pour ce montage astucieux!

## 1.2 Superposition de deux ondes monochromatiques

**Manip' :**  $I \neq I_1 + I_2$

On peut utiliser deux lampes et montrer que les intensités ont l'air de s'additionner... Par contre en utilisant un dispositif de trous d'YOUNG, on n'obtient pas du tout une somme d'intensité...

Supposons que l'on ait deux sources monochromatiques situées en  $S_1$  et  $S_2$ , créant des champs électriques

$$\mathbf{E}_1(M, t) = \mathbf{E}_{10} \cos \left( \omega_1 t - \frac{\omega_1}{c} (S_1 M) + \varphi_{10}(t) \right)$$

$$\mathbf{E}_2(M, t) = \mathbf{E}_{20} \cos \left( \omega_2 t - \frac{\omega_2}{c} (S_2 M) + \varphi_{20}(t) \right)$$

On retrouve les déphasages qu'on a l'habitude de voir avec le chemin optique, mais également des termes de phase  $\varphi_{10}$  et  $\varphi_{20}$  dus au fait qu'on utilise deux sources différentes. Leur origine est la suivante :

### Trains d'onde

On peut modéliser une source par un émetteur de **trains d'ondes** (ça correspond aux photons, mais c'est juste un modèle pour expliquer les déphasages, donc ne pas trop parler de photons!). Ces trains sont de longueur finie et sont émis avec une phase aléatoire. Le signal émis est finalement des bouts de sinusoïdes, collés les uns aux autres ("sinusoïde par morceaux").

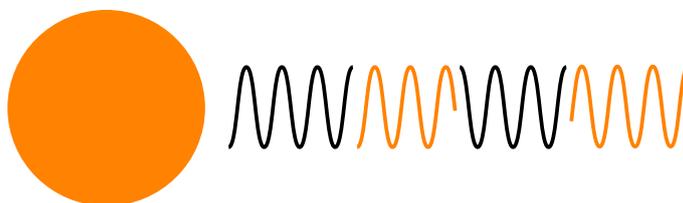


FIGURE 1.2 – Le signal émis correspond aux trains mis bout-à-bout

Bon bah c'est parti, regardons ce qu'il se passe si on superpose ces ondes :

$$I \propto \langle (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2)^2 \rangle$$

$$I \propto \underbrace{\langle \mathbf{E}_1^2 \rangle}_{I_1} + \underbrace{\langle \mathbf{E}_2^2 \rangle}_{I_2} + \underbrace{2\langle \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \rangle}_{\text{interférences}}$$

On retrouve ainsi que l'intensité résultante n'est pas juste la somme des deux intensités. Par contre si les ondes n'ont pas exactement la même polarisation, on remarque que le terme d'interférence s'annule. Ceci explique la première observation : les deux lampes émettent de la lumière non polarisée donc en moyenne ce terme est nul.

Intéressons-nous de plus près à ce terme d'interférence, en supposant que les deux ondes sont de même polarisation :

$$E_1 E_2 = E_{10} E_{20} \cos\left(\omega_1 t - \frac{\omega_1}{c}(S_1 M) + \varphi_{10}\right) \cos\left(\omega_2 t - \frac{\omega_2}{c}(S_2 M) + \varphi_{20}\right)$$

$$E_1 E_2 = \frac{1}{2} E_{10} E_{20} \left( \cos\left((\omega_1 + \omega_2)t - \frac{\omega_1(S_1 M) + \omega_2(S_2 M)}{c} + (\varphi_{10} + \varphi_{20})\right) + \cos\left((\omega_1 - \omega_2)t - \frac{\omega_1(S_1 M) - \omega_2(S_2 M)}{c} + (\varphi_{10} - \varphi_{20})\right) \right)$$

Ainsi, le premier terme est nécessairement de moyenne nulle puisque  $\omega_1 + \omega_2 \neq 0$ . C'est donc le deuxième terme qui contient tout ce qu'il y a d'intéressant :

- Pour que ce terme ne soit pas nul, il faut nécessairement  $\omega = \omega_1 = \omega_2$ . Enfin la vraie condition c'est  $\delta\omega\tau \ll 2\pi$ !
- On a vu que les trains d'ondes étaient émis avec une phase aléatoire, il faut donc  $\varphi_{10}(t) = \varphi_{20}(t)$  pour que la moyenne reste non nulle.

| On va récapituler tout ça en donnant quelques images

## 1.3 Notion de cohérence

### Définition : Cohérence

On dit que deux ondes sont **cohérentes** si leur superposition conduit à un terme d'interférence non nul

### Précision

Il peut être utile de rappeler qu'il faut que les ondes se croisent.

Les conditions de cohérence sont donc les suivantes :

1. Même polarisation, ceci est donc vérifié pour le LASER mais pas pour une lampe classique
2. Même pulsation, même avec deux LASER, on ne verra pas d'interférence si on prend un vert et un rouge par exemple → manip?
3. Même phase, détaillons cette condition un peu plus...

Chaque train d'onde est émis sur une durée  $\tau$  (temps de désexcitation d'un atome) et a donc une longueur **appelée longueur de cohérence**  $l_c$ . Quelques ordres de grandeur :

Source	Longueur de cohérence
Laser He-Ne (TP)	30 cm
Laser plus balèze	jusqu'au km!
Source random	0.6 $\mu\text{m}$

Ainsi pour deux sources différentes, il n'y a aucune chance pour que les trains d'ondes émis soient de même phase. Pour obtenir deux sources cohérentes, il faut donc ruser et créer deux sources secondaire à partir d'une seule et une source première !

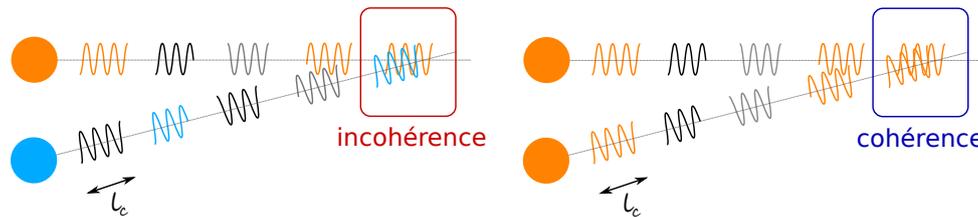


FIGURE 1.3 – Si des trains d'ondes différents se croisent, ils n'ont pas la même phase et donc le terme de cohérence est nul. Ici les couleurs, représentent les phases.

Si toutes les conditions sont vérifiées, le terme d'interférence devient

$$E_1 E_2 = \frac{1}{2} E_{10} E_{20} \cos\left(\frac{\omega}{c}((S_2 M) - (S_1 M))\right) = \sqrt{I_1 I_2} \cos\left(2\pi \frac{\delta}{\lambda}\right)$$

Avec  $\delta = (S_2 M) - (S_1 M)$  la **différence de chemine optique**. Cette longueur correspond à la différence de chemin parcouru entre les deux rayons.

Pour deux sources cohérentes, on peut écrire la **formule de FRESNEL** :

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(2\pi \frac{\delta}{\lambda}\right)$$

### Remarques

On comprend alors l'origine des fluctuations d'intensité :

- Si  $\delta = n\lambda$ , alors le terme d'interférence est positif. On parle d'interférences **totalemnt** constructives. De manière générale, il y a interférence constructive dès que  $I > I_1 + I_2$ .
- Si  $\delta = (n + 1/2)\lambda$ , alors le terme d'interférence est négatif. On parle d'interférences **totalemnt** destructive. De manière générale, il y a interférence destructive dès que  $I < I_1 + I_2$ .

On remarque également qu'en moyenne,  $I_{moy} = I_1 + I_2$ , ce qui correspond à la conservation de l'énergie. Cette dernière est redistribuée en certaines régions de l'espace uniquement.

## 2 Fentes d'Young

↪ *J'intègre MP / MP\*, p.227*

L'expérience des fentes d'Young (Thomas Young 1801) est la première expérience d'interférences lumineuses et est, par conséquent, simple à comprendre et à analyser.

### 2.1 Dispositif expérimental et observations

### Manip' : Fentes d'Young

Faire l'expérience et faire quelques observations : alternance de beaucoup de lumière et de moins de lumière (même **aucune** lumière, c'est important d'insister sur ça) rien, régularité selon un axe..  
On a bien des interférences.  
vidéo des fentes de Young

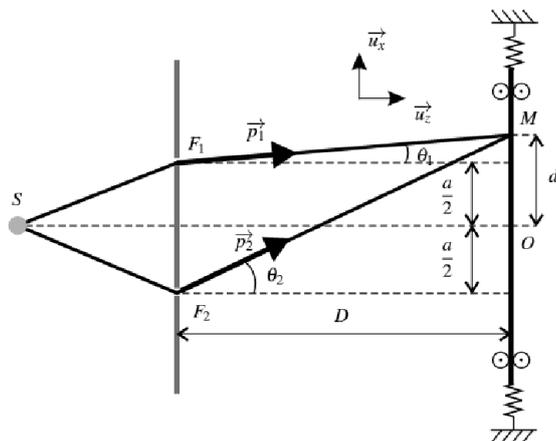


FIGURE 2.1 – Caption

Voici un schéma du dispositif expérimental. Une source primaire  $S$  émet un rayonnement supposé monochromatique (filtre interférentiel) de longueur d'onde  $\lambda$  et éclaire deux sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$  telles que les distances  $(SS_1)$  et  $(SS_2)$  soient égales. Ces deux sources sont séparées d'une distance  $a$  entre elles et d'une distance  $D$  de l'écran où l'on observe la superbe figure d'interférence.

### OdG

En pratique, on a :

- $\lambda \sim 630$  nm. 632.8 nm pour le Laser He-Ne.
- $a \sim 0.5$  mm
- $D \sim 1$  m, (ce qui nous permettra de faire un DL en  $a/D \gg 1$  mais chut faut pas encore le dire...)

## 2.2 Modélisation

Modélisons maintenant le dispositif de manière à pouvoir mener les calculs (tout en justifiant au mieux ces hypothèses, évidemment)

- il n'y a ainsi pas de différence de marche induite entre la source principale et les sources secondaires. Ce dispositif permet aussi principalement d'avoir deux sources **cohérentes**, ce dont on a vu la nécessité dans la première partie. Cela permet aussi d'avoir deux sources de même intensité
- on considère des fentes infiniment fines selon  $\vec{u}_x$  et infinies selon  $\vec{u}_y$  donc problème invariant en  $y$
- on considère qu'on peut effectuer le DL en  $a/D \ll 1$  tranquillement, en bas des blocks

Un résultat important de la première partie était la formule de Fresnel qui nous indique que pour connaître l'intensité en un point  $M(x, y, D)$  il suffit de connaître la différence de marche  $\delta(M)$  en ce point. CALCULONS LA ALORS DANS LA JOIE, LA BONNE HUMEUR ET LE CONFINEMENT :

Après des calculs compliqués nécessitant un DL à l'ordre 1 de  $(x \pm a/2)/D \gg 1$ , on trouve

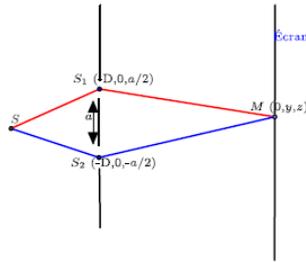


FIGURE 2.2 – Caption

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

Dans l'hypothèse où les deux sources ponctuelles émettent avec la même intensité  $I_0$ , la formule de Fresnel donne donc :

$$I(x) = 2I_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right)$$

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

Qui nous donne l'intensité lumineuse sur l'écran (dans la limite  $(x \pm a/2)/D \gg 1$  mais autour du centre (frange la plus lumineuse) ça pose pas de soucis.

▮ On peut désormais comparer les observations expérimentales avec l'expression obtenue théoriquement.

## 2.3 Retour sur l'expérience

Premier résultat confirmé par la théorie : l'indépendance en  $y$  et la dépendance en  $x$ .

Plus important, on a retrouvé la périodicité de la figure d'interférences. On peut réécrire  $I(x)$  comme :

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

où on a fait apparaître  $i = \frac{\lambda D}{a}$  l'*interfrange*, qui représente la période spatiale de l'alternance entre les franges blanches et les franges sombres. Cela montre bien qu'on retrouve la périodicité observée expérimentalement.

### Manip' : Détermination de $\lambda$

On peut montrer la pertinence de ce modèle en mesurant plusieurs  $i$ ,  $D$  et  $a$  et faire un petit calcul rapide, avec les incertitudes bien évidemment, pour montrer qu'on retrouve bien le bon  $\lambda$ .

### Attention à la périodicité !

Dans ce système d'interférences, l'alternance de franges sombres et lumineuses est accompagnée d'une périodicité avec  $i$ . Il faut faire attention, l'alternance lumière/rien

est bien caractéristique des interférences (c'est le principe aussi...) mais la périodicité n'est pas toujours présente! Il suffit de regarder le Michelson en lame d'air, les rayons des cercles ne présentent aucune périodicité.

On retrouve aussi dans la formule théorique l'annulation **complète** de l'intensité, ie  $I_{min} = 0$ , mais c'est spécifique à ce cas, comme on le verra dans la suite...

Enfin, au centre de l'écran, on définit la frange centrale qui est toujours brillante au vu de la dépendance en cosinus. À partir de cette frange, on va définir l'**ordre d'interférence**  $p = \frac{\delta}{\lambda}$ . Cette notion est importante car c'est elle qui va nous permettre de localiser les franges lumineuses. En effet, on comprend sur le schéma (à faire évidemment) que des interférences constructives, qui vont donner des franges lumineuses sont définies par  $p \in N$  et des interférences destructrices sont définies par  $p + 1/2 \in N$ . Par exemples, les ordres  $p = \pm 1$  sont les franges lumineuses déterminées par  $\delta = \pm\lambda$  et sont donc les franges lumineuses situées immédiatement de part et d'autre de la frange centrale.

### Animation

Méga stylé du cul :

[https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/lumiere/interference\\_lumiere.htm](https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/lumiere/interference_lumiere.htm)

Une autre :

<http://www.falstad.com/ripple/>

## 3 Source réelle

Dans la suite, nous revenons sur les hypothèses qui ont été faite sur la source :

- Source ponctuelle
- Source monochromatique

### 3.1 Étalement spatial

Ici, on considère que notre source n'est plus ponctuelle mais étendue. Commençons par souligner qu'étendre la source dans la direction orthogonale à l'alignement des trous ne change pas la figure d'interférence. On peut donc remplacer les trous par des fentes afin de simplement augmenter l'intensité. L'étalement qui nous intéresse maintenant est celui dans la direction des fentes.

On modélise une source étendue par plusieurs petites sources ponctuelles incohérentes entre elles. Commençons par voir comment est modifiée la figure si déplace simplement la source initiale d'une distance  $X$ . C'est facile, on a déjà fait les calculs, c'est exactement la même chose mais à gauche!

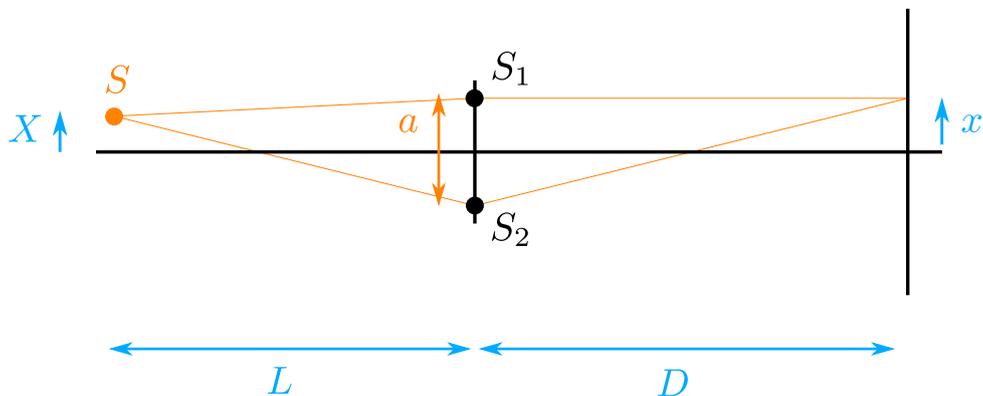


FIGURE 3.1 – Le calcul est symétrique.

Ainsi il vient que

$$\delta = \frac{ax}{D} + \frac{aX}{L} = \frac{a}{D} \left( x + \frac{D}{L} X \right)$$

Donc on retrouve la même interfrange  $i = \frac{\lambda D}{a}$ ... La figure d'interférence est juste décalée de  $\frac{D}{L} X$ . On commence à comprendre alors que si on ajoute pleins de petites sources ponctuelles comme ça, on additionne des figures d'interférence shiftées les unes par rapport au autres... On risque alors de perdre les belles franges :o

Pour mener le calcul complet, on modélise la source étendue de taille  $X \in [-b/2, b/2]$  par plusieurs sources de taille  $dX$  et de densité en intensité  $\frac{I_0}{b} dX$  uniforme. On considère qu'elles sont toutes incohérentes entre elles, ce qui permet d'additionner leurs figures d'interférences :

$$I(x) = \int_{-b/2}^{b/2} 2 \frac{I_0}{b} dX \left( 1 + \cos 2\pi \left( \frac{ax}{\lambda D} + \frac{aX}{\lambda L} \right) \right)$$

On mène le calcul tmtc...

$$I(x) = 2I_0 \left( 1 + \operatorname{sinc} \frac{\pi ab}{\lambda L} \cos 2\pi \frac{ax}{\lambda D} \right)$$

On retrouve la même forme que précédemment, mais avec un terme de contraste devant le cosinus...

#### Définition : Contraste

On définit le contraste comme la grandeur adimensionnée

$$C = \left| \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \right|$$

il caractérise l'amplitude des variations d'intensité : il est maximal et égal à 1 lorsque les franges sont parfaitement distinguables. Au contraire, il est nul si la figure est uniforme.

Alors dans ce cas, le contraste vaut :

$$C = \left| \operatorname{sinc} \frac{\pi ab}{\lambda L} \right|$$

On remarque donc qu'il est maximal lorsque la source est ponctuelle  $b = 0$ . Puis il diminue mais remonte un peu plus tard... Bref tout ça est plus clair sur le programme python!

#### Manip' : Perte de contraste

On peut s'amuser à la faire en vrai si python c'est trop facile... O ALORS ON PEUT PAS : <https://youtu.be/tc6V9B7YjtU?t=181>

#### Brouillage

Lorsque le contraste diminue, on parle de **brouillage**

## 3.2 Étalement spectral

De même, on peut revenir sur l'hypothèse monochromatique, puisqu'on sait qu'en vrai, la lumière peut être composée de plusieurs longueurs d'onde. Or on voit que chaque longueur d'onde a sa propre figure d'interférence... La somme de ces figures va donc donner également un brouillage, un peu particulier.

### Remarque

Cette fois-ci, les sources à différents  $\lambda$  sont forcément incohérentes puisque par définition elle ne sont pas à la même pulsation ! On peut donc bien additionner les figures d'interférence.

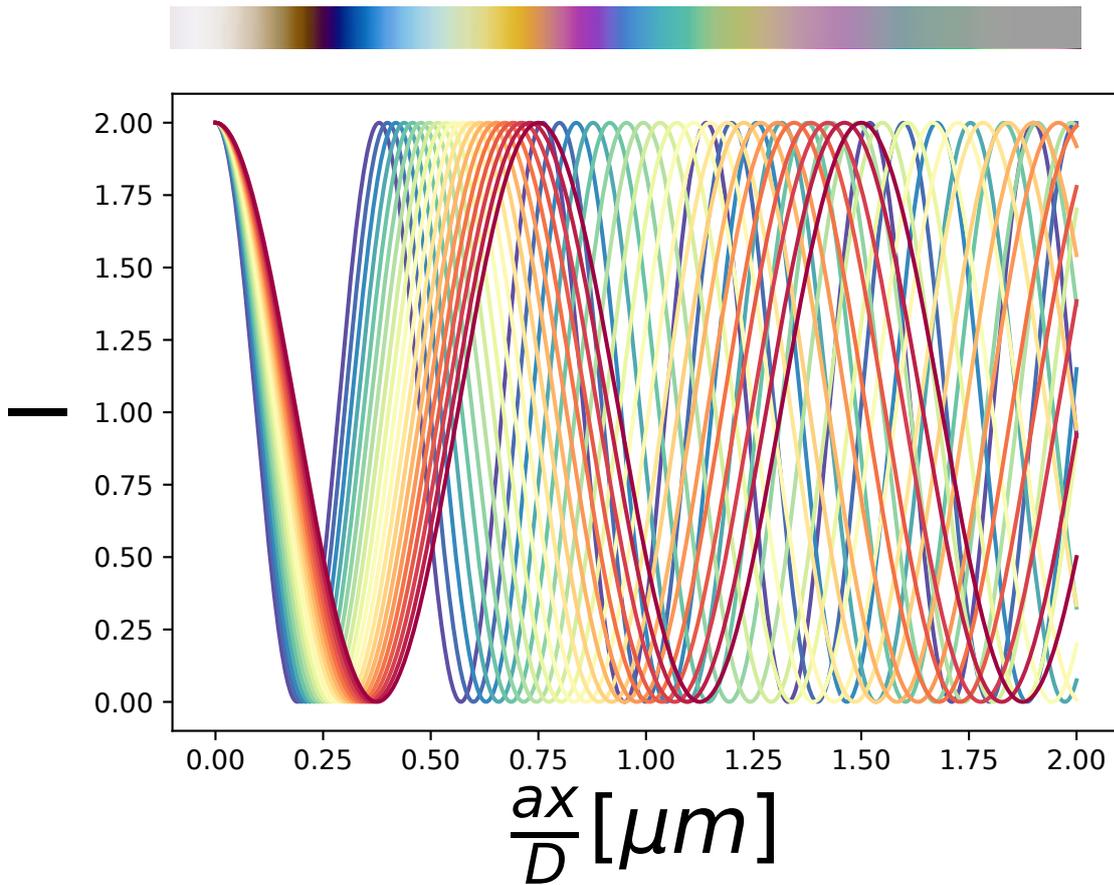


FIGURE 3.2 – Chaque longueur d'onde a sa propre figure d'interférence. On représente dans la barre du haut la somme de toutes ces couleurs.

On remarque que si on s'éloigne trop du centre, les couleurs se réadditionnent mais ce ne sera jamais un vrai blanc puisqu'il manque également certaines couleurs. On dit que c'est un **blanc d'ordre supérieur**.

Si on utilise un LASER ou une lampe spectrale, chaque raie est très fine, mais la lumière n'est jamais vraiment monochromatique. Pour plus de détail sur l'élargissement des raies, voir leçon 37 - absorption, émission. On peut calculer quantitativement quel effet a un étalement de  $\Delta\nu$  autour de  $\nu$  (créneau) :

$$I(x) = \int_{\nu_0 - \Delta\nu/2}^{\nu_0 + \Delta\nu/2} 2 \frac{I_0}{\Delta\nu} d\nu \left( 1 + \cos \frac{2\pi\nu ax}{cD} \right)$$

$$I(x) = 2I_0 \left( 1 + \text{sinc} \frac{\pi ax \Delta\nu}{cD} \cos 2\pi \frac{ax}{\lambda D} \right)$$

De la même façon, on voit apparaître un terme de contraste, mais cette fois-ci, ce contraste dépend de l'espace! C'est ce qu'on expliquait plus haut. De plus, plus le pic est fin, plus ce terme de contraste s'étale (cas critique  $\Delta\nu = 0 \implies C = 1$ ).

## Questions

- ★ Pourquoi un exemple en mécanique puis nous parler pendant 40 minutes d'optique?

*Permet de visualiser le problème, sans les trains d'ondes.*

- ★ Pourquoi des ondes monochromatiques?

*Base de décomposition des paquets d'onde (équations de MAXWELL linéaires)*

- ★ C'est quoi  $\varphi_{10}$  et  $\varphi_{20}$ ?

*Les phases initiales de chaque train d'onde.*

- ★ Définition de cohérence?

*Deux sources sont cohérentes si leur déphasage relatif est constant dans le temps.*

- ★ Alors est-ce que cohérence implique interférences?

*Non par exemple dans le zone de brouillage.*

- ★ Du coup moi je dirais que cohérence ssi terme d'interférence non nul (interférences quoi)

- ★ Pourquoi y a des déphasages alors que dans un laser, l'émission stimulée envoie un photon en phase avec celui qui arrive?

*Parce que (même si elle sont négligeables) les émissions spontanées émettent dans des phases random. Après voilà, comme dit FERRAND "en terme de foutre des claques à la physique, les trains d'onde c'est pas mal".*

— On peut choisir de ne parler que d'un type de cohérence

- Quelles sont les hypothèses du modèle scalaire ?
- Pourquoi s'arrête-t-on à l'ordre 2 dans le développement limité dans la différence de marche ? Quel est l'ordre suivant non nul ?
- À quoi est dû l'élargissement des raies ? Quels sont les profils qu'on trouve et dans quel cas ?
- Comment marche un tre interférentiel ?
- Est-il possible de réaliser des interférences avec 2 sources primaires diérentes ?
- Quelles-sont les différences fondamentales entre les ondes lumineuses et les autres types d'ondes (acoustiques par exemple) ?
- Pourquoi je peux réaliser des interférences de rides à la surface de l'eau avec deux excitateurs différents ?
- Comment s'énonce les théorèmes de Winner-Khintchine et de Van-Cittert-Zernicke ?
- Comment polariser une source ? Quelles modications faut-il faire lorsqu'on a une source polarisée ?
- Comment s'énonce le théorème de localisation ?
- Qu'est-ce que le théorème de Wiener-Khinchin ? Rép : le degré de cohérence est obtenu par transformée de Fourier inverse de la densité spectrale normalisée
- Quelle est la diérence entre intensité et éclairément ? L'intensité est un ux lumineux par unité d'angle solide et l'éclairément un ux lumineux par unité de surface.
- Citer d'autres dispositifs à division du front d'onde ? Miroirs de Fresnel, de Lloyd, bilentille de Billet...
- Quelle est la différence entre dispositifs à division du front d'onde et à division d'amplitude ? Exemples pour la division d'amplitude ? Michelson, Fabry-Pérot, Mach-Zehnder, Sagnac...
- Que dit le théorème de localisation des interférences ? La différence de marche  $\delta$  suite au déplacement du point source est nulle au premier ordre si les rayons qui interfèrent proviennent d'un même rayon incident. Ainsi les dispositifs à division d'amplitude s'affranchissent de la perte de cohérence spatiale au prix de la localisation des interférences.
- Quelles sont les sources d'élargissement spectrale ? Ordre de grandeur ? Largeur intrinsèque (prol Lorentzien), largeur Doppler (prol Gaussien), largeur suite aux collisions (prol Lorentzien), effet Stark, etc. La convolution d'un prol Gaussien et d'un prol Lorentzien est appelée profil de Voigt.
- Quel théorème mathématique est associé à la notion de cohérence spatiale ? Que dit-il ? Le théorème de Van-Cittert-Zernike : le degré de cohérence pour une source ponctuelle polychromatique est égale à la transformée de Fourier du prol d'intensité de la source  $I(X,Y)$ .
- Même question pour la cohérence temporelle ? Le théorème de Wiener-Khinchin : le degré de cohérence pour une source étendue monochromatique est égale à la transformée de Fourier de la densité spectrale de la source  $I()$ .
- La perte de contraste est-elle toujours un défaut ? Qu'est-ce que l'interférométrie de Labeyrie ? Non. L'interférométrie de Labeyrie tire profit de la perte de cohérence spatiale pour déterminer le diamètre des étoiles. La perte de cohérence temporelle permet d'étudier les raies spectrales (distance entre les raies du doublet du Sodium, etc.).
- Quelles sont les différences fondamentales entre ondes lumineuse et mécanique ? Une onde lumineuse à une fréquence bien plus élevée dans le domaine de l'optique qu'une onde mécanique. Il n'est pas possible de contrôler la phase d'émission des excitateurs optiques, i.e. des électrons qui se désexcite vers l'état fondamental de l'atome.
- Quelle expérience célèbre met en évidence la cohérence de polarisation ? L'expérience de Fresnel-Arago.
- Quelle est l'équivalent d'un Mach-Zehnder avec polariseurs, dans le domaine de l'optique anisotrope ? Un matériau biréfringent suivi d'un polariseur permet de réaliser des interférences entre ondes de polarisations différentes.
- Que peut-on dire de la validité du développement limité permettant d'obtenir la figure d'interférences ? Il faut vérifier que l'ordre suivant est bien négligeable, ce qui n'est pas le cas en particulier dès qu'on s'éloigne suffisamment de l'axe optique.
- En s'éloignant de l'axe optique, observe-t-on toujours des franges parallèles avec le dispositif des fentes d'Young ? Non : les franges se courbent et l'interfrange varie (cf. développement limité).