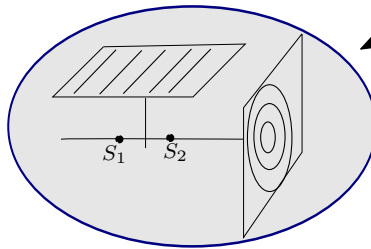
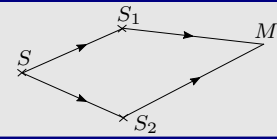


## Interférences à deux ondes

### ① Intensité lumineuse résultant de la superposition de deux sources

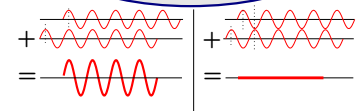
Sources non synchrones  
ou non cohérentes  
 $\Rightarrow I(M) = I_1 + I_2$

Sources secondaires synchrones et cohérentes  
 $\Rightarrow I(M) = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \delta_M\right)$   
 $\delta_M = (SS_1M) - (SS_2M)$  différence de marche

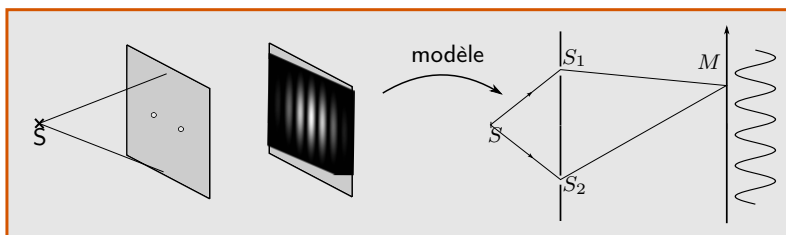


Contraste maximal si  $I_1 = I_2$   
Alors :  $I(M) = 2I_0(1 + \cos \Delta\phi)$

Ordre d'interférence :  
 $p = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\delta_M}{\lambda_0}$   
 $p \in \mathbb{Z}$  si intensité maximale



### ② Exemple du dispositif des trous d'Young



Différence de marche  
Intensité sur l'écran  
Montage avec lentilles  
Fentes

## Plan du cours

### I - Expression de l'intensité lumineuse résultant de la superposition de deux sources

- 1 - Cas de deux sources ponctuelles incohérentes
- 2 - Cas de deux sources ponctuelles cohérentes
  - a) Formule de Fresnel
  - b) Bilan sur les conditions pour des interférences
  - c) Figure d'interférence à n'importe quelle distance
  - d) Contraste

### II - Exemple du dispositif des trous d'Young

- 1 - Description du dispositif
- 2 - Expression de l'éclairement, montage simple
- 3 - Expression de l'éclairement, montage avec lentilles
- 4 - Fentes d'Young
- 5 - Effets d'une source non monochromatique ou non ponctuelle (non au programme, TD IV et V)

## Ce qu'il faut connaître

- ▶<sub>1</sub> Y a-t-il toujours additivité des amplitudes des vibrations lumineuses  $s(M, t)$ ? Et des intensités lumineuses  $I(M)$ ?  
Quelles sont les conditions pour pouvoir observer des interférences en optique? <sup>a</sup>
- ▶<sub>2</sub> Donner la formule de Fresnel pour deux sources synchrones et cohérentes d'intensités  $I_1$  et  $I_2$ .  
Comment s'écrit-elle si  $I_1 = I_2$ ?
- ▶<sub>3</sub> Que signifient les termes "sources cohérentes", "sources synchrones", "interférences non localisées"?
- ▶<sub>4</sub> Comment est définie la différence de marche entre deux rayons arrivant en  $M$ , l'un partant de  $S_1$ , l'autre de  $S_2$ ?
- ▶<sub>5</sub> Comment est défini l'interfrange  $i$  lorsque l'on a des franges d'interférence rectilignes?
- ▶<sub>6</sub> On considère deux sources  $S_1$  et  $S_2$ .  
Quelle est la forme des surfaces d'intensité constante?  
Quelle est la forme de la figure d'interférence vue sur un écran perpendiculaire à l'axe des sources?  
et sur un écran parallèle à l'axe des sources?
- ▶<sub>7</sub> Quelle est la définition de l'ordre d'interférence  $p$ ? ( $p = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\delta}{\lambda_0}$ )  
Pour quelles valeurs de  $p$  l'intensité est-elle maximale? minimale? (pour  $p \in \mathbb{Z}$ , pour  $p \in \mathbb{Z} + 1/2$ )
- ▶<sub>8</sub> Comment est défini le contraste?  
Savoir qu'il est maximal pour  $I_1 = I_2$  lors d'interférences à deux sources ponctuelles monochromatiques.
- ▶<sub>9</sub> Le montage des trous d'Young (version sans lentille ou version avec lentille):
  - Être capable de le schématiser et de le décrire.
  - Le type de figure d'interférence que l'on obtient (en particulier l'orientation des franges).
  - Connaître le rôle de la diffraction (influence du diamètre des trous) et celui des interférences dans ce montage.
  - Décrire la variation de l'interfrange si l'on change la distance à l'écran ou la distance entre les trous.

## Ce qu'il faut savoir faire

- ▶<sub>10</sub> Établir la formule de Fresnel en supposant dès le départ les sources synchrones et cohérentes (en utilisant éventuellement le formalisme complexe).
- ▶<sub>11</sub> Calculer l'éclairement sur l'écran dans un dispositif de type trous d'Young, dans le cas du montage avec ou sans lentille.
  - Faire un schéma du dispositif des trous d'Young. Aboutir à l'expression de l'éclairement sur l'écran, puis de l'interfrange..
  - TD II.
  - Les deux exemples du cours (II.2 et II.3).
- ▶<sub>12</sub> Calculer une différence de marche étant donné un dispositif, éventuellement en mettant en évidence des surfaces d'onde (idem point précédent, + TD III et IV).

---

a. Sources synchrones et cohérentes, mais il faut savoir définir ces deux termes.

## Documents associés au cours

### Introduction : expériences des fentes et des trous d'Young

⇒ Rappel : On dit qu'il y a **interférence** lorsque l'intensité lumineuse en un point n'est pas égale à la somme des intensités produites par les sources.

On peut alors avoir des zones où "lumière + lumière = absence de lumière".

Ceci est expliqué par le modèle *ondulatoire* de la lumière.

Figure 1 : Rappels de l'idée derrière les interférences dans la description ondulatoire

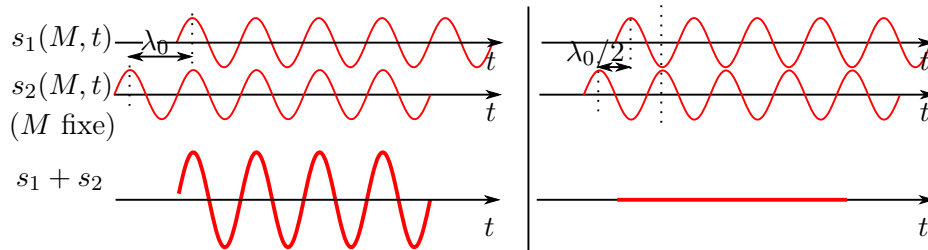
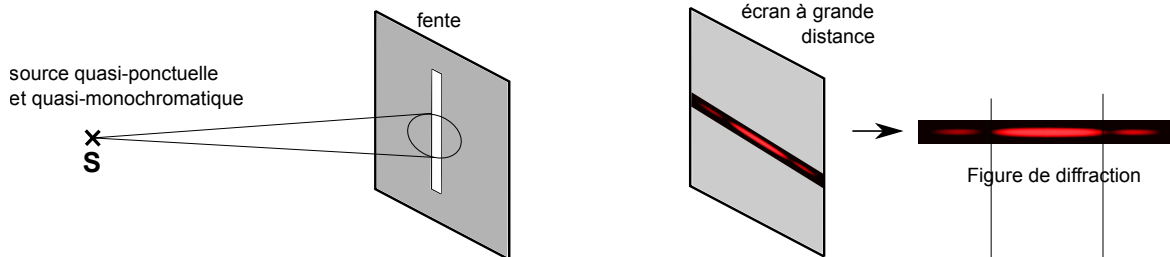
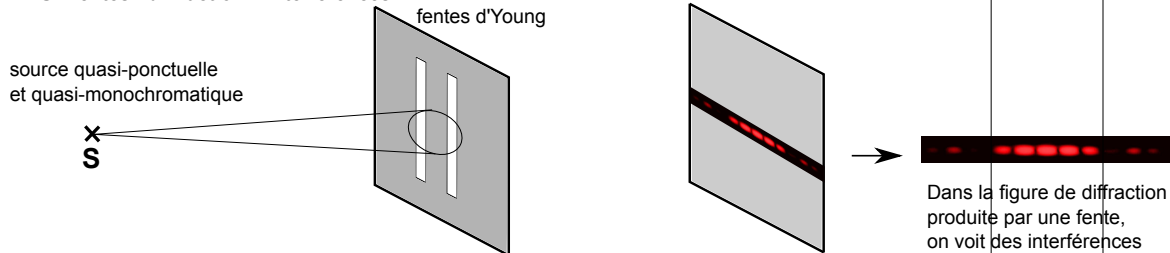


Figure 2 : expérience des fentes d'Young

#### UNE fente : diffraction



#### DEUX fentes : diffraction + interférences



#### DEUX fentes : diffraction + interférences, éclaircissement large des fentes

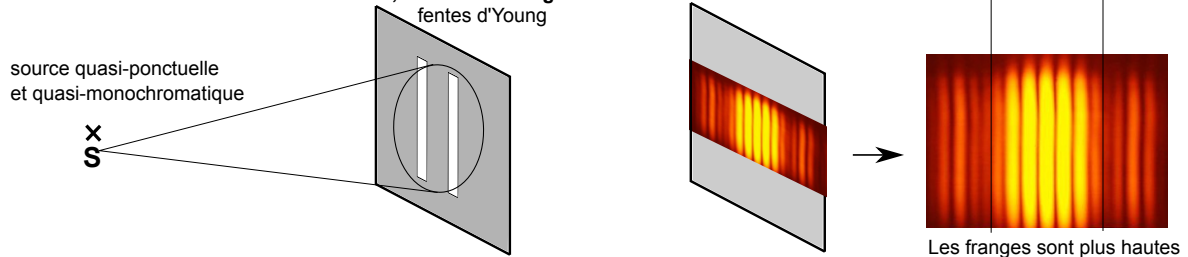
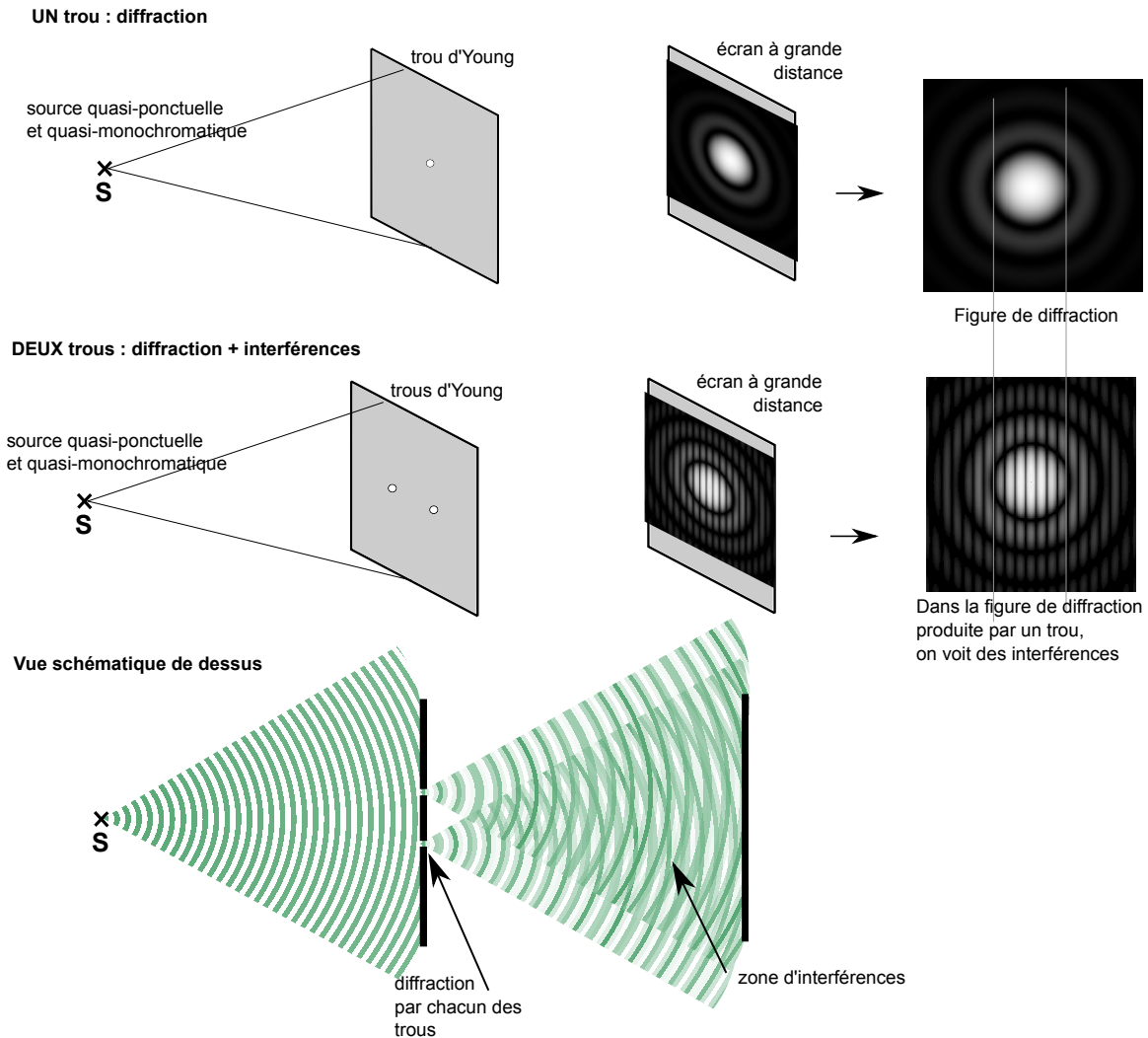


Figure 3 : une version plus simple à étudier : expérience des trous d'Young



### Rôle de la diffraction et hypothèse d'un éclairage uniforme

Les expériences des fentes d'Young et des trous d'Young (figures 2 et 3) montrent que *les interférences sont dans la figure de diffraction* créée par une seule fente ou un seul trou.

Dans ce chapitre on n'étudie pas la diffraction.

On cherche donc à reproduire, avec notre modèle, uniquement les interférences. C'est-à-dire la succession de maxima et minima comme ci-contre.

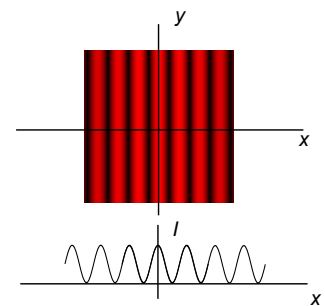


Figure d'interférence décrite mathématiquement dans ce chapitre

Figure 4

Ceci se traduit par l'hypothèse que l'éclairage produit par un seul trou ou une seule fente est uniforme sur l'écran.

En pratique pour que ce soit le cas, il faut s'intéresser au centre de la figure de diffraction, où on observe :

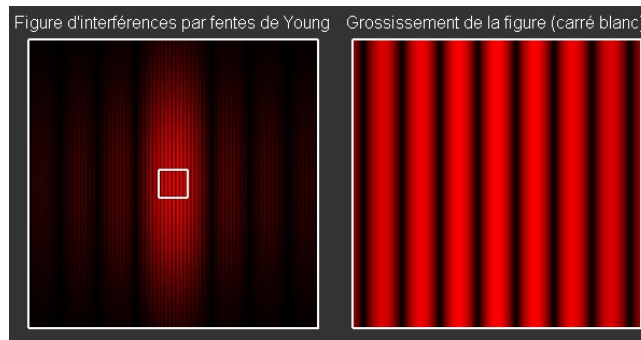


Figure 5

C'est d'autant plus simple si :

- Dans le cas des trous d'Young, la diffraction produit une tache centrale très étendue sur tout l'écran. Pour cela il faut des trous de diamètre petit.
- dans le cas des fentes d'Young, la diffraction produit une tache centrale très étendue (il faut donc des fentes fines), et les fentes sont éclairées en totalité verticalement.

### I.2.a) Formule de Fresnel

#### Formulaire et rappels mathématiques

- $\cos(2x) = 2 \cos^2 x - 1$ , et donc  $\cos^2 x = \frac{\cos(2x) + 1}{2}$ .
- $\cos a \cos b = \frac{1}{2} (\cos(a + b) + \cos(a - b))$ .
- $(1 + \varepsilon)^\alpha \simeq 1 + \alpha\varepsilon$

On note  $\langle \cdot \rangle$  la moyenne temporelle effectuée sur un temps  $T_{\text{int}}$ , qui correspond au temps d'intégration d'un photodétecteur.

On a alors, si  $T_{\text{int}} \gg \frac{2\pi}{\omega}$  :

- $\langle \cos(\alpha \pm \omega t) \rangle = 0$ ,
- $\langle \cos^2(\alpha \pm \omega t) \rangle = \frac{1}{2}$ .

Même chose si c'est un sinus.

**Remarque :** Si  $T_{\text{int}}$  n'est pas très grand devant  $\frac{2\pi}{\omega}$ , cela reste vrai à condition que  $T_{\text{int}}$  soit un multiple entier de  $\frac{2\pi}{\omega}$ .

Par exemple si  $T_{\text{int}} = \frac{2\pi}{\omega}$ , ou  $T_{\text{int}} = \frac{4\pi}{\omega}$ .

Sinon ces égalités ne sont plus vraies.

Moyenne d'un produit de grandeurs complexes : si  $f(t)$  et  $g(t)$  sont de même période  $T$ , alors  $\langle f(t)g(t) \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}(f \underline{g}^*)$ , avec  $\underline{g}^*$  le complexe conjugué de  $\underline{g}$ .

Figure 6 – Trains d'onde interférant en  $M$  :

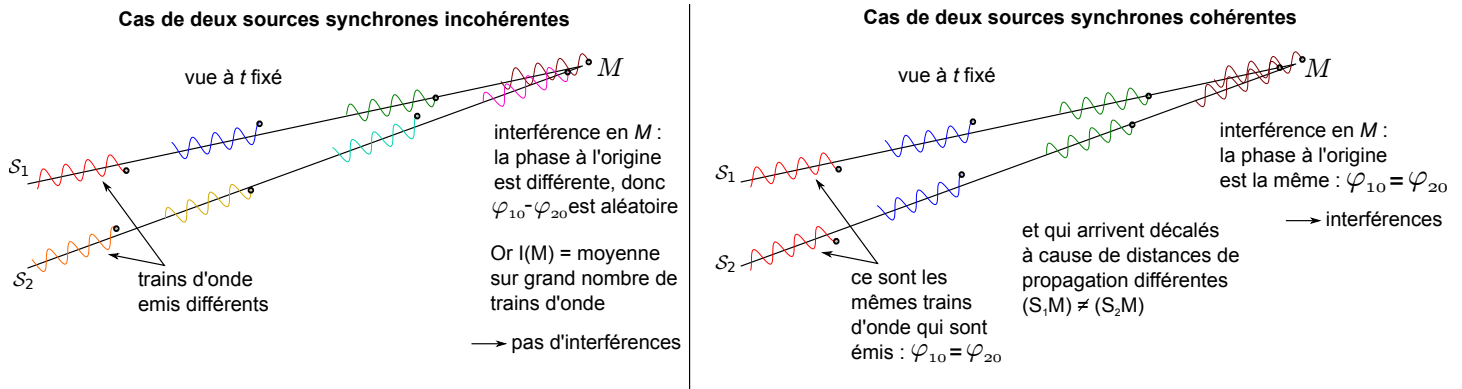


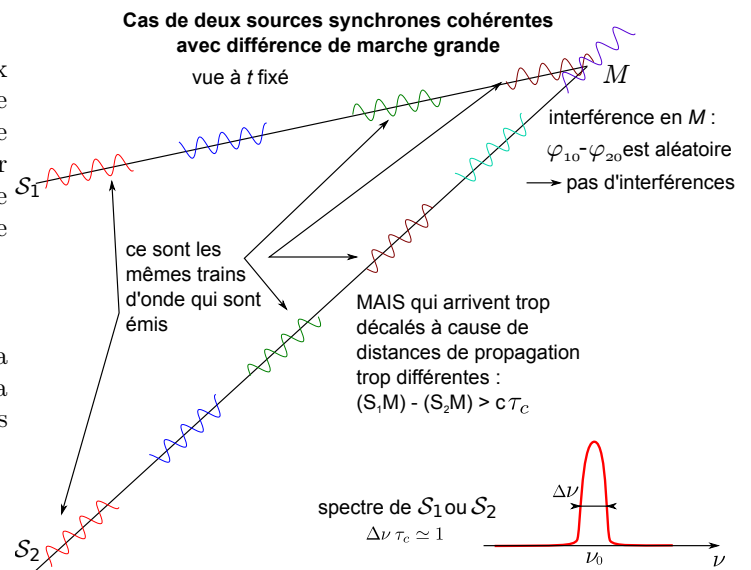
Figure 7 – Cas de deux sources cohérentes mais avec différence de chemin optique trop grande (hors programme) :

**Remarque :** (hors programme) dans le cas de deux sources synchrones cohérentes (cas de droite sur la figure au-dessus), il ne faut pas que la différence de marche  $\delta_M = (S_1M) - (S_2M)$  soit plus grande que la longueur  $l_c = c\tau_c$  d'un train d'onde, car sinon les trains d'onde sont trop décalés et ce n'est pas le même train d'onde qui interfère avec lui-même.

On ne voit alors pas d'interférence.

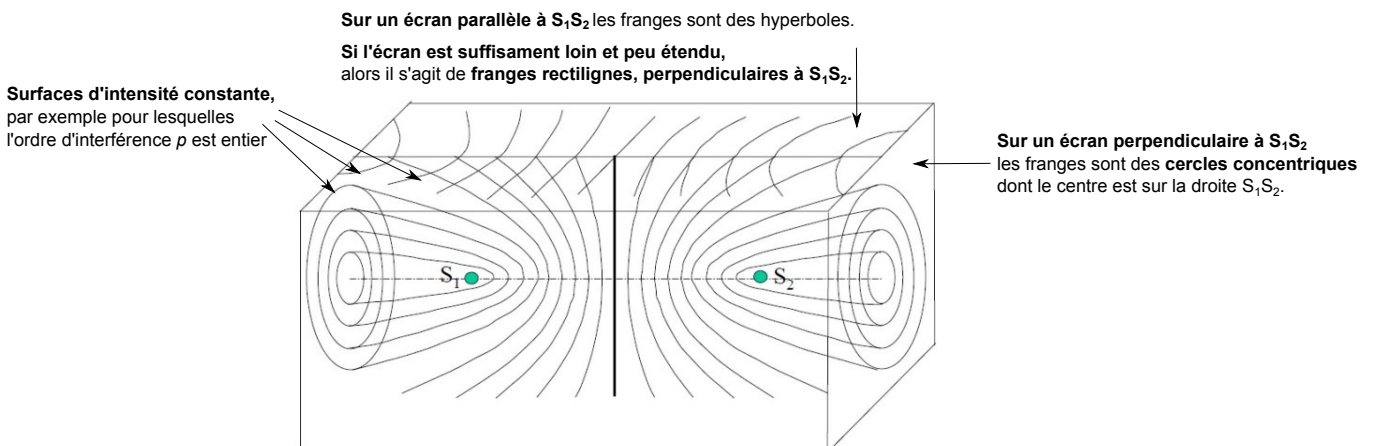
Comme  $\tau_c \simeq 1/\Delta\nu$  avec  $\Delta\nu$  la largeur spectrale de la source, on voit qu'une source à spectre large donnera lieu à des interférences seulement là où  $\delta_M$  n'est pas trop grand.

Voir TD V.

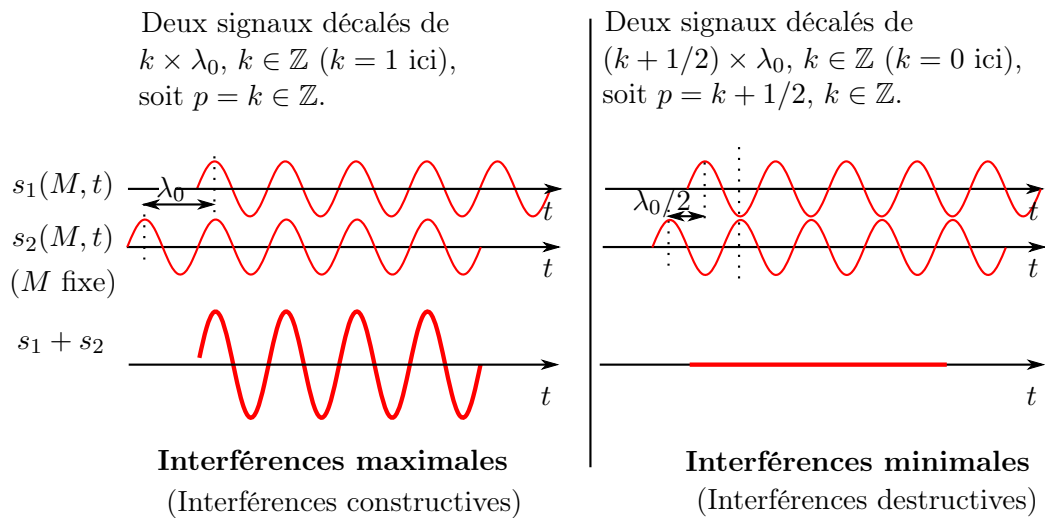


I.2.c) Figure d'interférence à n'importe quelle distance

Figure 8 – Figure d'interférence pour deux sources ponctuelles cohérentes :



**Figure 9 – Maximum et minimum de l'intensité lors des interférences :**



## II – Trous d'Young

Animation permettant de simuler des interférences à deux ondes : voir liens sur le site de la classe.

**Liste des observations expérimentales que notre modèle devra reproduire :**

- Lorsque l'on augmente la longueur d'onde de la source (en passant d'un laser vert à un laser rouge par exemple), l'interfrange augmente.
- Lorsque l'on augmente la distance entre les deux trous (ou entre les deux fentes), l'interfrange diminue.
- Changer le diamètre des trous (ou la largeur des fentes) ne change pas l'interfrange.