Optique ondulatoire

On résume dans cette fiche les méthodes typiques de résolution d'un exercice d'optique ondulatoire.

Table des matières

1 Cas particuliers

On travaille essentiellement sur des configurations où **deux sources ponctuelles monochromatiques** sont susceptibles de donner lieu à des interférences.

Dans les autres cas :
- si il y a plus de deux sources (3, 4, ou N,...) : voir le chapitre OP6 (on utilise la notation complexe) ;
- si les sources sont non ponctuelles : voir le chapitre OP5 (il peut y avoir une perte de contraste par perte de cohérence spatiale) ;
- si les sources sont non monochromatiques : voir le chapitre OP4 (il peut y avoir une perte de contraste par perte de cohérence temporelle).

L'essentiel des exercices ne portent pas sur ces cas. Les méthodes discutées ci-dessous vous permettront donc de répondre à la grande majorité des questions.

2 Interférences avec deux sources ponctuelles monochromatiques

C'est un très bon réflexe d'adopter la démarche suivante, quelque soit l'exercice :
1. **faire un schéma** ;
2. identifier les deux sources qui interfèrent (elles peuvent être virtuelles si la configuration expérimentale met en jeu des miroirs et/ou des lentilles) ;
3. vérifier que les deux sources vérifient les trois critères de cohérence.

Pour rappel, les trois critères de cohérence sont
1. les sources ont la même pulsation ω (ou de manière équivalente la même longueur d'onde λ_0) ;
2. elles sont issues de la même source primaire ;
3. la différence de marche δ est inférieure à la longueur de cohérence temporelle ℓ_c (recouvrement du même train d'onde).

La vérification des critères de cohérence est souvent évidente. Notamment, si les sources sont issues d'une même source primaire monochromatique, alors c'est directement le cas. *(Elles sont en effet de même pulsation (celle de la source primaire), issues d'une même source primaire et la longueur de cohérence temporelle d'une source parfaitement monochromatique est infinie donc forcément $\delta < \ell_c$ quelque soit δ...)*

2.1 Sources incohérentes

Si les sources ne vérifient pas chacun des trois critères, alors **elles sont incohérentes et on somme les éclairements**

$$\boxed{\mathcal{E}_{\text{tot}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}$$

2.2 Sources cohérentes

Si les sources vérifient les trois critères, alors **elles sont cohérentes et on utilise la formule de Fresnel**

$$\boxed{\mathcal{E}_{\text{tot}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + 2\sqrt{\mathcal{E}_1\,\mathcal{E}_1}\,\cos\left(\frac{2\,\pi}{\lambda_0}\,\delta\right)}$$

Calculer $\mathcal{E}_{\text{tot}}$ revient donc à calculer la différence de marche δ. Souvent, $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_0$, alors dans ce cas

$$\boxed{\mathcal{E}_{\text{tot}} = 2\,\mathcal{E}_0\left(1 + \cos\left(\frac{2\,\pi}{\lambda_0}\,\delta\right)\right)}$$

2.3 Bonus : superposition incohérente de motifs d'interférence

Une classe répandue d'exercices consiste à étudier la superposition incohérente de motifs d'interférence, qui apparaissent lorsque deux sources primaires incohérentes 1 et 2 donnent chacune lieu à deux sources secondaires cohérentes qui interfèrent. Alors on somme les éclairements dus aus deux sources 1 et 2 :

$$\mathcal{E}_{\text{tot}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$$

mais $\mathcal{E}_1$ et $\mathcal{E}_2$ sont donnés par la formule de Fresnel ! *(Car ils proviennent de deux phénomènes d'interférence indépendants : source 1 de son côté et source 2 du sien !)*

3 Calculs de chemin optique

Le calcul de la différence de marche

$$\delta = \mathcal{L}(SS_2M) - \mathcal{L}(SS_1M)$$

nécessite de calculer des chemins optiques. Pour cela, on dispose des méthodes suivantes :

1. dans un **milieu homogène**, $\mathcal{L}(SM) = n\,SM$: il suffit de calculer la distance SM directement ;
2. les **chemins optiques sont additifs**. Si le rayon lumineux de S à M passe par A, alors

   $$\mathcal{L}(SM) = \mathcal{L}(SA) + \mathcal{L}(AM)$$

   On peut se servir de cette propriété pour décomposer le calcul du chemin optique en plusieurs morceaux ;
3. le **théorème de Malus** (combiné ou non avec le **principe de retour inverse de la lumière**) permet souvent de déterminer facilement la forme des surfaces d'onde. En pratique, on ne recontre que deux cas.
   Cas 1. Si les rayons lumineux sont tous parallèles entre eux (source à l'infini), les surfaces d'ondes sont planes.
   Cas 2. Si la source est dans un milieu homogène, elle émet des surfaces d'onde sphériques.

4 La figure d'interférence

Les franges sont repérées par leur ordre d'interférence $p = \delta\,/\,\lambda$. p entier correspond à une frange brillante, et p demi-entier à une frange sombre.

- pour déterminer la forme d'une frange, écrire $p =$ Cste et déduire un critère sur les coordonnées. *ex : $p =$ Cste implique $r =$ Cste donc la figure d'interférence est un cercle.*
- pour déterminer la distance entre deux franges (l'interfrange), écrire que deux grandes consécutives ont une différence d'ordre d'interférence de ± 1.