

TP numéro 8 : optique physique (1)

Interférences à deux ondes

PC, 9 janvier 2009

1 Principe de base des interférences

1.1 Définition générale

- ▶ On parle d'interférences lorsqu'en un point de l'espace ou dans une zone de l'espace, des ondes distinctes se superposent.

DÉFINITION : Les **interférences** sont les superpositions de plusieurs ondes de même nature physique.

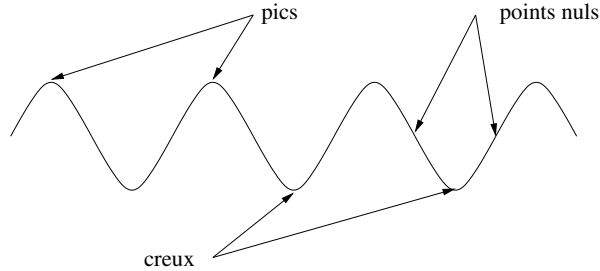
- ▶ Dans le cas général, deux ondes sonores, deux ondes mécaniques, deux ondes électromagnétiques, deux ondes thermiques, etc . . . , qui interfèrent donnent une superposition absolument quelconque, et l'étude de la somme des deux (ou plus) ondes ne met en évidence aucune loi particulière.
- ▶ Ainsi :
 - (son) deux personnes qui parlent en même temps donnent un son mêlé,
 - (vibration d'une corde) les impulsions générées par deux danseurs de corde donnent une vibration chaotique,
 - (oem) les deux impulsions lumineuses générées par un appel de phares donnent une impulsion plus puissante,
 - (thermique) les ondes de chaleur données par deux radiateurs chauffant de façon irrégulière donnent un champ de température aperiodique, etc
- ▶ Nous allons montrer dans ce premier TP-cours que la superposition de deux ondes ne peut donner un champ d'interférences particulier que si les deux ondes sont parfaitement synchronisées. Dans le cas général, il est possible d'observer des interférences entre deux ondes générées par deux sources bien réglées ; dans le cas des interférences lumineuses, nous montrerons que ce n'est possible qu'avec une même source divisée. Dans le cadre du programme, les deux diviseurs d'onde sont • le dispositif des trous d'Young • l'interféromètre de Michelson. L'onde divisée est alors assimilée à deux sources secondaires. Il en existe d'autres, vus en exercices.
- ▶ On verra en fin d'année qu'il existe aussi des interférences optiques :
 - avec une (presque) infinité dénombrable de sources secondaires : on utilise pour cela un fractionneur d'ondes qui s'appelle un réseau ; on effectue alors une somme de type série.
 - avec une infinité non dénombrable de sources secondaires : on utilise pour cela une fente de diffraction ; on effectue alors une somme de type intégrale.
- ▶ On peut donc retenir la loi fondamentale suivante.

RÉSULTAT : **Principe d'interférences** : dans des conditions particulières d'ondes interférentes, on observe une onde résultante dotée de propriétés particulières (essentiellement franges d'interférences) : la figure d'interférences est obtenue par analyse de la fonction d'onde, somme des deux, des n , ou somme intégrale des diverses fonctions d'onde (en général complexes) arrivant en M et venant des deux, des n ou des éléments de sources.

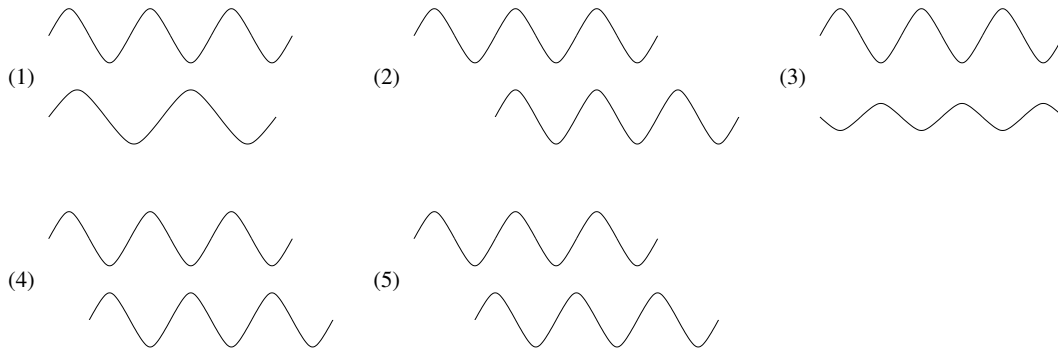
$$a(M, t) = a_1(M, t) + a_2(M, t) \quad \text{ou} \quad \sum_{k=1}^n a_k(M, t) \quad \text{ou} \quad \iint_{P \in \mathcal{F}} da_P(M, t)$$

1.2 Exercices préparatoires

Une onde sinusoïdale peut être modélisée par une «vague», représentant les pics, les creux et les points nuls.



- **Aspect graphique.** En un point M de l'espace arrivent deux ondes modélisées par deux vagues. Parmi les exemples suivants, déterminer pour lesquels l'onde résultante en M est d'amplitude maximale, d'amplitude nulle, d'amplitude intermédiaire, ou d'amplitude variable dans le temps.



- **Aspect trigonométrique.** Les cinq situations précédentes peuvent être modélisées par les fonctions suivantes :

- (1) $[a_1(M, t) = A \cos(\omega_1 t) ; a_2(M, t) = A \cos(\omega_2 t)]$
 (2) $[a_1(M, t) = A \cos(\omega t + \varphi_1) ; a_2(M, t) = A \cos(\omega t + \varphi_1 + 2p\pi)]$
 (3) $[a_1(M, t) = A \cos(\omega t) ; a_2(M, t) = -B \cos(\omega t)]$
 (4) $[a_1(M, t) = A \cos(\omega t + \varphi_1) ; a_2(M, t) = A \cos(\omega t + \varphi_1 + (2p + 1)\pi)]$
 (5) $[a_1(M, t) = A \cos(\omega t + \varphi_1) ; a_2(M, t) = A \cos(\omega t + \varphi_2)]$

À chaque fois, exprimer la somme $a(M, t)$ des deux ondes. On appelle éclairement d'une onde sinusoïdale $a(M, t)$ la valeur moyenne du double de son carré $\mathcal{E} = \langle 2a^2(M, t) \rangle$. Calculer dans chaque cas les éclairements des ondes a_1 , a_2 et de leur somme a .

- (1)
 (2)
 (3)
 (4)
 (5)

- **Aspect ondulatoire.** On ne s'intéresse plus désormais qu'aux cas (2), (4) et (5). Les deux ondes sont émises par deux sources S_1 et S_2 parfaitement accordées, donnant une onde identique $a_1(S, t) = a_2(S, t) = A \cos(\omega t)$. On note δt_1 la durée du trajet S_1M , δt_2 celle du trajet S_2M et on pose $\Delta t = \delta t_2 - \delta t_1$. On note enfin δ la distance parcourue par l'onde à la vitesse c_0 (célérité de référence) pendant Δt . En utilisant le principe ondulatoire, donner l'expression de $a_1(M, t)$ et de $a_2(M, t)$ en fonction de δt_1 et de δt_2 .

$$a_1(M, t) =$$

$$a_2(M, t) =$$

En déduire les expressions de δ dans les cas étudiés :

$$(2)$$

$$(4)$$

$$(5)$$

- **Aspect complexe.** On passe en formalisme complexe : les grandeurs sont soulignées, les conjugués sont marqués avec une astérisque (*) et on appelle éclairement la grandeur $\mathcal{E} = \underline{a} \cdot \underline{a}^*$. Calculer l'éclairement de \underline{a}_1 , de \underline{a}_2 et de leur somme \underline{a} pour les trois cas étudiés :

$$(2)$$

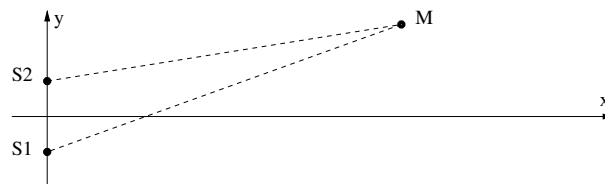
$$(4)$$

$$(5)$$

2 Interférences non localisées à deux sources ponctuelles identiques

2.1 Calcul préliminaire

- Soient S_1 et S_2 deux sources ponctuelles de même état vibratoire : $a_1(S_1, t) = a_2(S_2, t) = A \cos(\omega t)$ distantes de d et M un point de l'espace. Dans le plan (S_1, S_2, M) , on définit le repère cartésien d'origine $O = m[S_1, S_2]$:

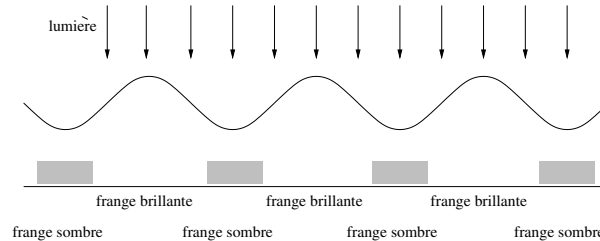


Donner les expressions des coordonnées des trois points et celles des distances S_1M et S_2M .

- On suppose que M se trouve sur un écran se trouvant à la distance D de l'axe des deux sources, ses coordonnées sont donc $M \left| \begin{array}{l} D \\ y \end{array} \right.$ avec $D \gg d$ et $D \gg y$. Donner les expressions approchées de S_1M et S_2M et de leur différence $S_1M - S_2M$ en fonction de D , y et d .

2.2 Interférences d'ondes de gravité à la surface d'un liquide

- ▶ Observer le dispositif.
- ▶ Le procédé d'observation des rides à la surface de l'eau est le suivant.



En assimilant la forme de l'eau à une succession de lentilles dont on précisera la nature, justifier la position des franges sombres et brillantes.

- ▶ Donner les expressions de $a_1(M, t)$ et de $a_2(M, t)$ en fonction de S_1M , S_2M , de la célérité c des ondes ($c = \sqrt{gh}$) et des paramètres A et ω .
- ▶ En déduire la fonction d'onde résultante en fonction de la différence de marche $\delta = S_2M - S_1M$.
- ▶ En utilisant des résultats vus dans les exercices préparatoires, en déduire la position des nœuds de vibration (franges «sombres») et des ventres de vibration (franges «brillantes»); justifier leur répartition sur des arcs d'hyperboles.

2.3 Trous (fentes) d'Young

- ▶ Les fentes d'Young sont éclairées par un laser; comme elles ont une longueur grande devant λ , on peut travailler dans le plan perpendiculaire aux deux fentes et contenant le faisceau laser. L'intersection de ce plan et des deux fentes F_1 et F_2 est assimilée à deux trous T_1 et T_2 , distants de d .
- ▶ On admet (c'est le *principe d'Huygens-Fresnel*) que chaque trou éclairé par le laser se comporte comme une source secondaire de lumière; S_1 et S_2 sont donc assimilées à deux sources de même état vibratoire : $a_1(S_1, t) = a_2(S_2, t) = A \cos(\omega t)$
- ▶ Soit M un point de l'écran situé à la distance $D \gg d$ du plan des deux fentes. Donner les expressions de $a_1(M, t)$ et de $a_2(M, t)$ en fonction de S_1M , S_2M , de la célérité c_0 de la lumière et des paramètres A et ω .
- ▶ En déduire la fonction d'onde résultante en fonction de la différence de marche $\delta = S_2M - S_1M$.
- ▶ En utilisant des résultats vus dans les exercices préparatoires, déterminer sur l'écran la position des nœuds de vibration (franges «sombres») et des ventres de vibration (franges «brillantes»).
- ▶ En utilisant les résultats du préliminaire, en déduire l'ordonnée de la p -ième frange brillante et l'expression de l'interfrange i .

- ▶ Vérifier expérimentalement.