

## 9 Exercices type écrit (à rendre en DM pour le 13/03/2019)

La propagation de l'onde lumineuse s'effectue dans un milieu transparent, diélectrique, linéaire, homogène et isotrope.

La vitesse de la lumière dans le vide est notée  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

Une source lumineuse ponctuelle située en  $S$  émet, de manière pulsée, des trains d'ondes lumineuses supposées de même pulsation  $\omega$ . Dans le modèle scalaire de la lumière, la fonction de l'onde monochromatique est caractérisée en un point  $M$  et à l'instant  $t$  par le signal lumineux ou vibration lumineuse :  $s(M, t) = a \cos(\omega t - \varphi(M, t))$ , où  $a$  est l'amplitude supposée constante de l'onde et  $\varphi(M, t)$  son retard de phase en  $M$  et à l'instant  $t$  par rapport au point de référence  $S$ .

Le modèle des trains d'ondes suppose que la phase à la source  $\varphi_S$  reste constante pendant des intervalles de temps de durée constante  $\tau_c$  entre lesquels elle change aléatoirement de valeur. L'onde émise durant cet intervalle de temps appelé temps de cohérence est nommée « train d'onde ». Le train d'onde est ainsi limité dans le temps et se propage dans le vide à la célérité  $c$ . La phase de l'onde  $\varphi_S$  à la source  $S$  prend une nouvelle valeur aléatoire à chaque nouveau train d'onde.

### Première partie : Rayon lumineux

La lumière se propage de  $S$  à  $M$  le long d'un rayon lumineux avec pour vitesse au point  $P$  :  $v(P) = \frac{c}{n(P)}$  où  $n(P)$

est l'indice de réfraction du milieu en  $P$  ; par définition, le chemin optique  $(SM)$  entre les points  $S$  et  $M$  du rayon

lumineux est :  $(SM) = \int_S^M n(P) dl(P)$ . L'élément d'arc de la courbe suivie par la lumière est noté  $dl(P)$  ; il est défini

en  $P$  et est parcouru par la lumière à la vitesse de propagation  $v(P)$  pendant la durée  $dt$ .

L'onde se propage sans déformation, le signal  $s(M, t)$  reproduit le signal de la source avec un retard  $\tau(M)$ .

**1)** Relier le chemin optique  $(SM)$  à la durée de propagation du signal  $\tau(M)$ . Conclure quant à l'interprétation du chemin optique.

**2)** Dans le domaine visible, pour une longueur d'onde moyenne dans le vide  $\lambda_m$  de l'ordre de 600 nm, calculer l'ordre de grandeur de la pulsation  $\omega_m$  du signal lumineux.

**3)** Etablir l'expression du retard de phase  $\varphi_{P \rightarrow M} = \varphi(M, t) - \varphi(P, t)$  lié à la propagation entre  $P$  et  $M$ , en fonction du chemin optique  $(PM)$  et de la longueur d'onde  $\lambda_0$  de l'onde étudiée dans le vide.

**4)** Définir une surface d'onde. Justifier le caractère d'onde sphérique associé au signal lorsque celui-ci se propage dans un milieu d'indice  $n$  constant. Enoncer le théorème de Malus.

**5)** Quel instrument d'optique permet d'obtenir une onde plane à partir d'une source ponctuelle ? Illustrer votre réponse à l'aide d'un schéma faisant apparaître les surfaces d'onde.

L'intensité lumineuse  $I(M)$  est mesurée par un détecteur quadratique placé en  $M$  sensible à la valeur moyenne temporelle de  $s^2(M, t)$ . Elle est conventionnellement définie au point  $M$  (à une constante multiplicative près) par :

$$I(M) = \langle s^2(M, t) \rangle.$$

Cette moyenne temporelle est effectuée sur un temps de réponse  $\tau_R$  du détecteur toujours très grand devant les temps de cohérence temporelle des sources supposés identiques à  $\tau_C$ . Ce temps de cohérence est la durée moyenne de passage des trains d'ondes en un point donné de l'espace.

**6)** Donner des ordres de grandeurs de temps de cohérence de sources usuelles. Dans le cas du laser de longueur d'onde moyenne  $\lambda_m$ , relier le temps de cohérence à son étendue spectrale  $\Delta\lambda$ . Faire l'application numérique.