Concours DEUG 2006 - Physique I

Corrigé de la partie C

Les troux circulaires sont très de très petites dimensions, ainsi chaque trou diffracte la lumière dans toutes les directions. Voir cours sur la diffraction. Ils sont donc comme des sources pontuelles secondaires.
En M (sur l'écran), il y a interférence entre une onde venant de S_1 et une onde venant de S_2.

I) Cette partie est très proche du cours.

1)

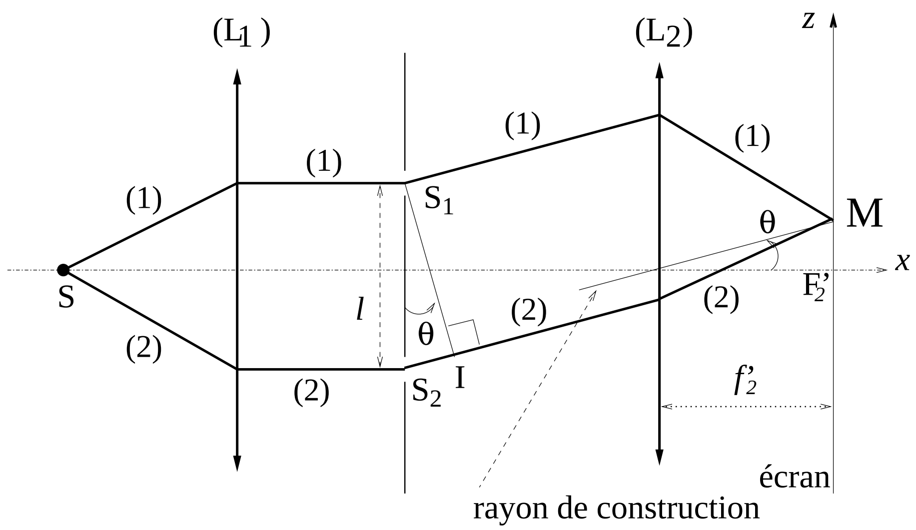

Figure 1: Fentes de Young. Source à l'infini (dans le plan focal objet d'une lentille), observation à l'infini (dans le plan focal image d'une autre lentille).

2) $\delta(M) = (SM)_1 - (SM)_2 = (S_1M)_1 - (S_2M)_2$ car $(SS_2)_2 = (SS_1)_1$
Ainsi : $\delta(M) = n_0\, S_2I$ avec I défini sur la figure.

3) $\delta(M) = n_0 l \sin\theta \simeq n_0 l\theta$ car $\theta \ll 1$ (conditions de Gauss pour la lentille).

4) $z = f_2' \tan\theta \simeq f_2'\theta$ donc $\delta(z) = n_0 \dfrac{lz}{f_2'} = \dfrac{lz}{f_2'}$ car $n_0 = 1$.

5) Les deux sources secondaires émettent des rayonnements de même intensité car elles sont identiques et disposées de façon symétrique par rapport à l'axe optique, donc l'intensité (éclairement) en M est : $I(M) = 2I_0(1 + \cos\Delta\varphi)$ avec $\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda_0}\delta(M)$.
Les franges brillantes (interférences constructives) correspondent aux positions de M telles que $\cos\Delta\varphi(M) = 1$. Soit : $\delta(z) = \lambda_0 p$ avec p entier.
Les valeurs de z correspondantes sont donc : $\underline{z_p = \dfrac{\lambda_0 f_2'}{l} p}$.

6) Interfrange $i = z_{p+1} - z_p = \underline{\dfrac{\lambda_0 f_2'}{l}}$.
Remarque : i est indépendant de p.

7) Figure d'interférence par deux trous de Young: Figure 2.

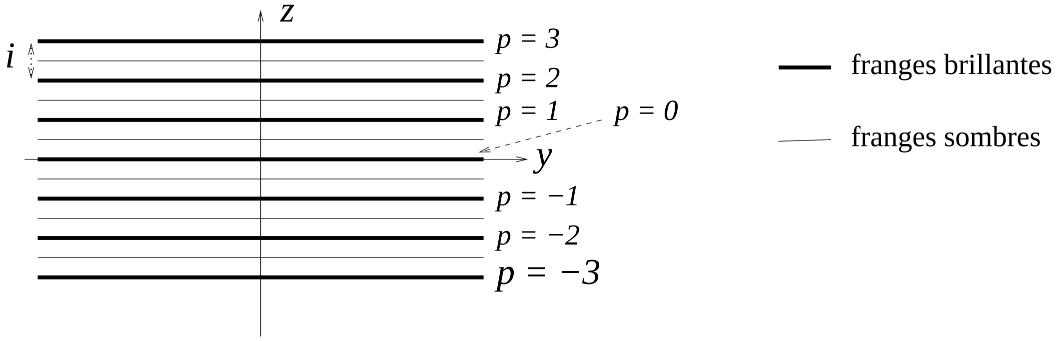

Figure 2: Les trais épais sont les franges brillantes d'ordre d'interférence p.

Dans le plan (yOz), les courbes d'équation $\delta(z) = Constante$ sont des droites $z = constantes$.
Remarque : $z = 0$ correspond a une frange brillante (claire) d'ordre d'interférence $p = 0$.

8) Une source ponctuelle n'est jamais parfaitement ponctuelle. Elle est toujours un peu étendue ce qui brouille les interférences (Voir TD interférences sur "source étendue"). Pour créer une source le plus ponctuelle possible on peut mettre entre la vraie source et le point S deux lentilles convergentes : La vraie source est sur le foyer objet de la premiere lentille (L) et le point S est sur le foyer image de la seconde (L'). Voir figure 3. En ajoutant un diaphragme en S, on peut fabriquer une source pontuelle en S moins étendue que la vraie source.

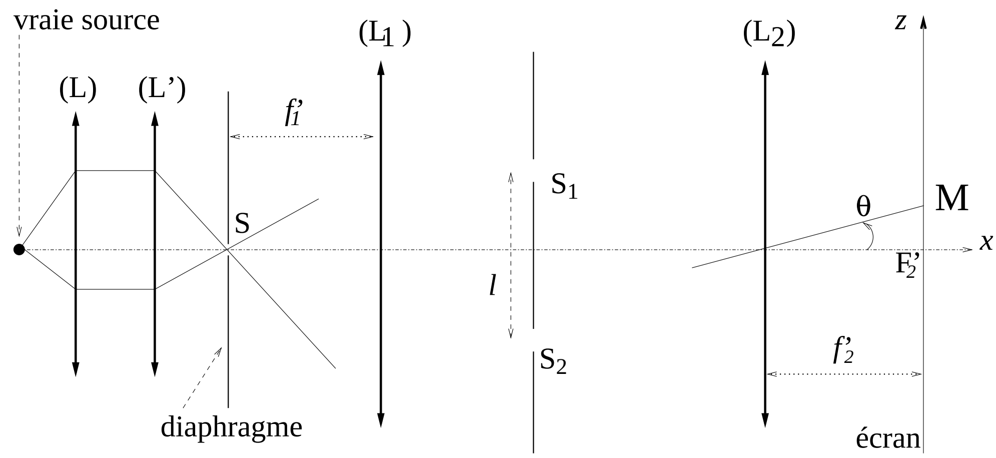

Figure 3: Montage avec un dispositif consitué de deux lentilles (L) et (L') pour créer une source presque ponctuelle en S à partir d'une source moins ponctuelle (vraie source).

II) La lame mince (L) transmet entièrement la lumière donc l'intensité de l'onde venant de S_1 n'est pas modifiée par rapport au calcul précédant. Mais, la lame introduit un déphasage nouveau car l'indice optique de la lame est différent de 1 (indice de l'air).

1) La lame est homogène, c'est à dire: n de la lame ne dépend pas de la position dans la lame. Sans la lame, la différence de marche en O est zéro $= (SO)_1 - (SO)_2$ (d'après la question I.4).

Avec la lame le chemin optique $(SO)_1$ est modifié de $(n - n_0)e$ alors que $(SO)_2$ est inchangé. Ceci est du au fait que le chemin (1) parcours un distance e dans le milieu d'indice n.

Donc $\delta(O) = (SO)_1 - (SO)_2 \quad = \quad (n - n_0)e \quad \underline{= \quad (n-1)e}$.

2) La lame n'est plus homogène: n varie lorsque l'on déplace la lame (L).

Remarque : On suppose en fait que l'indice n de la lame ne varie pas beaucoup dans l'épaisseur de la lame de sorte que le rayon transmis ressorte de la lame dans la même direction que le rayon incident. En revanche, n dépend de la position du point d'entrée J du rayon dans la lame. Voir figure 4.

On part d'une position de (L), d'indice n_1 telle que l'on a une frange brillante en O, donc

$$\delta(O) = (n_1 - 1)e = \lambda_0 p \quad \text{avec } p \text{ entier.} \tag{1}$$

En déplaçant la lame (L) l'indice passe à n_2 et la frange en O devient progressivement à une frange sombre. Or la différence de marche $\delta(O)$ varie de $\lambda_0/2$ entre une frange brillante et une frange sombre consécutive (car la différence entre deux franges brillantes consécutives est λ_0).
Lorsque la frange est sombre en O l'indice n_2 de (L) vérifie donc :

$$\delta(O) = (n_2 - 1)e = \lambda_0 p \pm \lambda_0/2 \tag{2}$$

avec le même p que dans l'équation (1). D'après (1) et (2) on obtient $\underline{\Delta n = |n_2 - n1| = \dfrac{\lambda_0}{2e}}$

3) On part de l'indice n correspondant à d'une frange brillante en O, donc

$$\delta(z = 0) = (n - 1)e = \lambda_0 p \quad \text{avec } p \text{ entier.} \tag{3}$$

On déplace (L): si la valeur de n augmente jusqu'à n', cela veut dire que $\delta(O)$ augmente. La frange brillante d'ordre p se trouve maintenant à la position z telle que : $\delta(z) = \lambda_0 p$.

Or d'après les questions I.4 et II.1

$$\delta(z) \;=\; \frac{lz}{f_2'} + (n' - 1)\frac{e}{\cos\theta'} \;\simeq\; \frac{lz}{f_2'} + (n' - 1)e \tag{4}$$

Car la distance parcourue par le chemin (1) dans la lame (L) est $IK = \dfrac{e}{\cos\theta'}$ avec $\cos\theta' \simeq 1$ car θ' petit (figure 4).

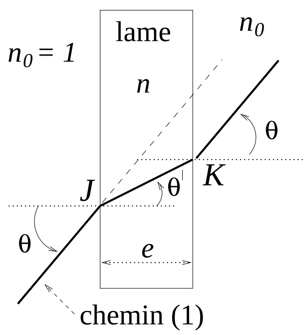

Figure 4: Le chemin (1) traverse la lame. Il ressort avec la même direction (légèrement décalé). D'après la loi de Snell-Descartes en J : $\sin\theta = n \sin\theta'$ on a $0 \leq \theta' < \theta$ car $n > 1$. Or θ est petit donc θ' est aussi petit.

Pour avoir ce $\delta(z)$ égal à $\lambda_0 p$ il faut (d'après les équations (3) et (4)):

$$\frac{lz}{f_2'} + (n' - 1)e \;=\; \lambda_0 p = (n - 1)e \tag{5}$$

Soit $z = (n - n')\frac{f_2'}{l}$.
Puisque $n' > n$ on obtient $z < 0$. La frange brillante se déplace donc vers le bas.

4) Application numérique :

Remarque : Dans le cas général, la valeur de l'indice optique d'un matériau dépend de la longueur d'onde. C'est pour cela qu'on donne la valeur de n pour la radiation jaune du sodium.

D'après la question II.2)

$$\frac{\Delta n}{n_D} = \frac{\lambda_0}{2en_D} = \frac{0,5890\,10^{-6}}{2 * 5,000\,10^{-3} * 1,6725} = 3,522\,10^{-5} \tag{6}$$

$\frac{\Delta n}{n_D} > 10^{-5}$ donc le matériau étudié n'est pas considéré comme homogène.