

LE MONTAGE DES TROUS D'YOUNG

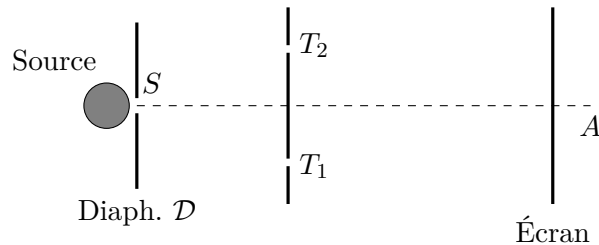
**Table des matières**

<b>I. Description. Calcul de la différence de marche</b>	<b>1</b>
1) Principe du montage . . . . .	1
2) Les montages à connaître . . . . .	2
a) Le montage de base . . . . .	2
b) Utilisation de lentilles . . . . .	2
<b>II. Intensité lumineuse</b>	<b>3</b>
1) Surfaces iso-intensité. Franges d'interférences . . . . .	3
2) Figure d'interférence en lumière monochromatique . . . . .	3

**I. Description. Calcul de la différence de marche**

**1) Principe du montage**

Le physicien anglais Thomas Young réalisa en 1801 une expérience célèbre connue sous le nom d'expérience des trous d'Young. Le schéma de principe est donné ci-dessous :

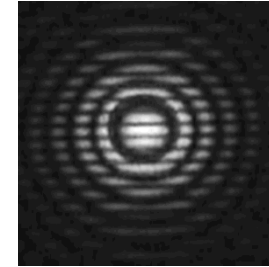


**Expérience des trous d'Young**

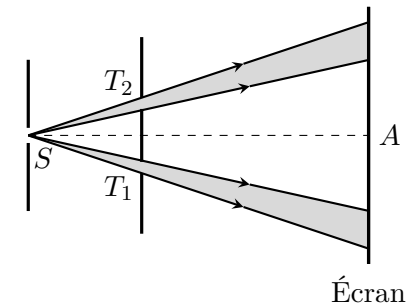
Un diaphragme circulaire ( $\mathcal{D}$ ) est éclairé par une source lumineuse et constitue une source ponctuelle  $S$ . La lumière issue de  $S$  éclaire, à

quelques dizaines de centimètres, deux trous circulaires très proches, ( $T_1$ ) et ( $T_2$ ), de très petits diamètres.

On observe dans le voisinage du point  $A$  d'un écran d'observation, placé à quelques dizaines de centimètres derrière le plan de ( $T_1$ ) et ( $T_2$ ) des anneaux concentriques autour d'un disque central (dont le centre est  $O$ ), striés de bandes alternativement sombres et claires.



Cela est d'autant plus surprenant que la région qui entoure le point  $A$  est située dans la zone d'ombre géométrique, comme le montre la figure suivante :



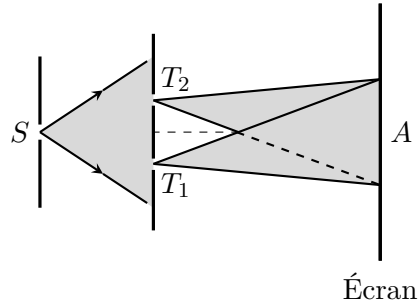
**Prévisions de l'optique géométrique**

Si la lumière parvient en  $A$  et dans son voisinage, c'est qu'elle ne respecte pas le principe de propagation rectiligne lorsqu'elle traverse les trous ( $T_1$ ) et ( $T_2$ ) : c'est le *phénomène de diffraction*.

Nous n'allons pas étudier précisément ce phénomène de diffraction qui est hors programme MP mais il faut juste en connaître trois propriétés afin de pouvoir faire les calculs pour le dispositif des trous d'Young.

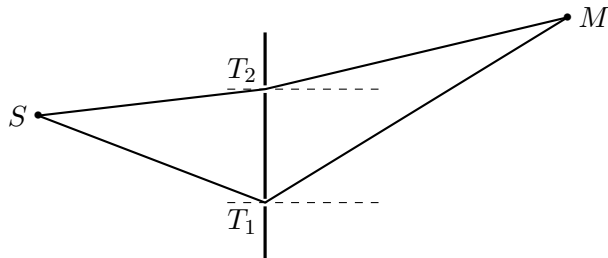
1. Chaque trou  $T_1$  et  $T_2$  se comporte comme une **source ponctuelle**. La lumière transmise par les deux trous est donc consti-

tuée de *deux faisceaux lumineux* : le premier issu de  $T_1$  et le second issu de  $T_2$ .



**Phénomène de diffraction de la lumière**

- 2. Il n'y a **aucun retard temporel** dans le processus de diffraction : la lumière reçue par chaque trou  $T_1$  ou  $T_2$  est instantanément réémise.
- 3. Chaque trou possède un coefficient de transmission  $t(R, \theta)$  qui dépend du rayon  $R$  du trou et de l'angle  $\theta$  qui caractérise la direction du rayon diffracté.



$$\begin{cases} a_1(M, t) = t(R_1, \theta_1) a(t - \tau_1) & \text{avec } \tau_1 = (SM)_1/c \\ a_2(M, t) = t(R_2, \theta_2) a(t - \tau_2) & \text{avec } \tau_2 = (SM)_2/c \end{cases}$$

**En pratique :**

- Les deux trous sont identiques :  $R_1 = R_2 = R$
- Les rayons diffractés sont peu inclinés par rapport à la normale au plan des trous :  $\theta_1 \approx 0$  et  $\theta_2 \approx 0$ .

On aura donc l'égalité :

$$t(R_1, \theta_1) \approx t(R_2, \theta_2) = t(R, 0) \stackrel{\text{noté}}{=} \kappa$$

et donc :

$$a_1(M, t) = \kappa a_{\tau_1}(t) \quad ; \quad a_2(M, t) = \kappa a_{\tau_2}(t) \quad \text{et} \quad I(M) = 2I_0 (1 + g_n(\tau))$$

**2) Les montages à connaître**

À faire sur feuille à part.

- a) **Le montage de base**
- b) **Utilisation de lentilles**

## II. Intensité lumineuse

### 1) Surfaces iso-intensité. Franges d'interférences

Considérons une source ponctuelle  $S$  qui émet une lumière quelconque (pas forcément monochromatique) et qui éclaire un dispositif à deux voies capable de réaliser des interférences en un point  $M$  avec une différence de marche qui s'écrit :

$$\delta(M) = n_a \{ T_1 M - T_2 M \}$$

où  $T_1$  et  $T_2$  sont deux points caractéristiques du montage et  $n_a$  l'indice de l'air. L'expression de l'intensité en  $M$  est :

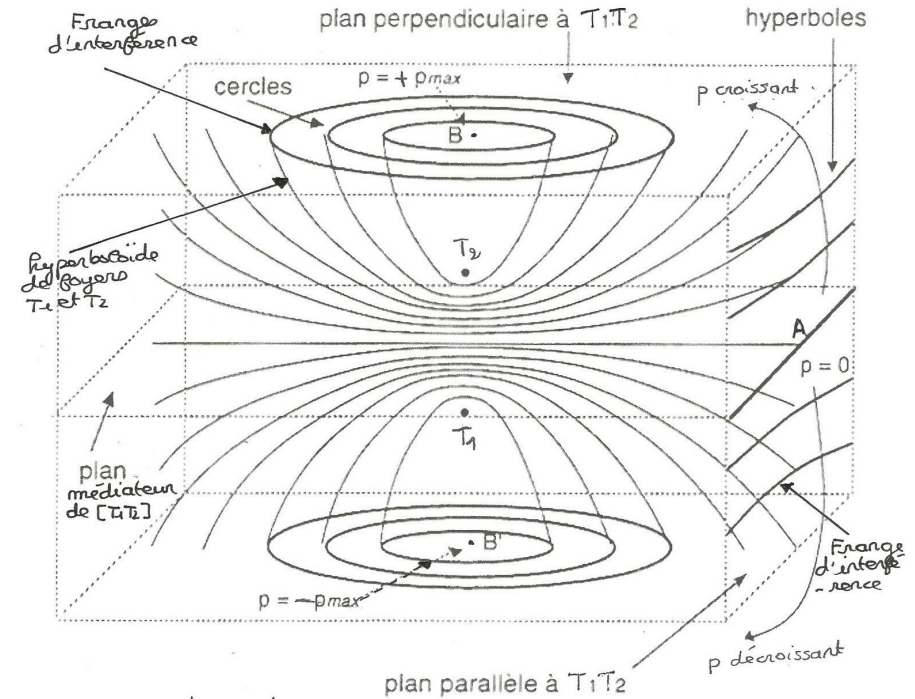
$$I(M) = I_1 + I_2 \pm 2\sqrt{I_1 I_2} g_n(\tau) \quad \text{avec} \quad \tau = \tau(M) = \frac{\delta(M)}{c}$$

Deux points  $M$  et  $M'$  tels que  $\delta(M) = \delta(M')$  auront donc *la même intensité lumineuse*. Il est donc intéressant d'étudier l'ensemble des points vérifiant :

$$T_1 M - T_2 M = \text{Cste} = C \quad (1)$$

D'un point de vue géométrique, l'ensemble des points vérifiant (1) est une **surface**, appelée **surface iso-intensité**, qui est :

- soit le **plan médiateur** du segment  $[T_1, T_2]$  dans le cas où  $C = 0$  ;
- soit une **hyperboloïde de révolution** dont l'axe de symétrie est  $T_1 T_2$  et dont les deux foyers sont  $T_1$  et  $T_2$ .



En pratique, l'intersection des ces surfaces avec des plans (qui sont en fait des écrans d'observation) sont des courbes appelées **franges d'interférences**. Selon la position du plan d'observation (de l'écran), on peut observer :

- des franges en forme d'hyperboles qui deviennent quasiment rectilignes au voisinage du point  $A$  : plan //  $T_1 T_2$  ;
- des franges circulaires sur des plans  $\perp T_1 T_2$ .

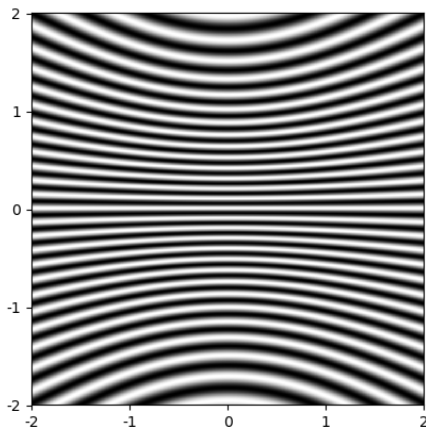
### 2) Figure d'interférence en lumière monochromatique

Dans le cas particulier où la source ponctuelle  $S$  émet une lumière monochromatique de pulsation  $\omega_0$  :  $a(t) = A_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$  et que le dispositif interférentiel est le montage de base des trous d'Young :

$S \in Oz$  + écran à la distance  $D \perp Oz$  des deux trous. L'intensité sur l'écran s'écrit :

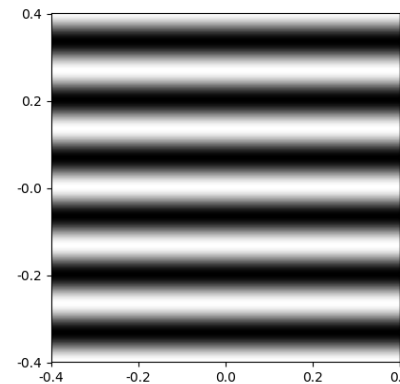
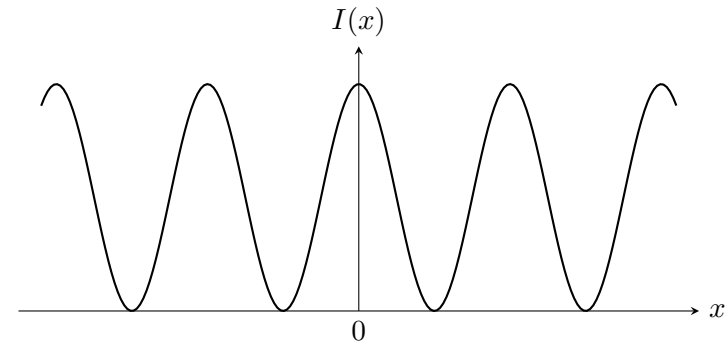
$$I(M) = 2I_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{\omega_0 \delta}{c} \right) \right]$$

avec  $\delta(M) = n_a \{ T_1 M - T_2 M \}$ . La répartition d'intensité sur l'écran est visualisée sur la figure ci-dessous :



L'intensité est alors donnée par :

$$I(M) = 2I_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi n_a a x}{\lambda_0 D} \right) \right] = I(x)$$



Dans le cas particulier où la zone d'observation est réduite au voisinage du point  $A$  (ce qui est réalisé dans tous les cas pratiques), on peut se contenter d'un développement limité de  $\delta$  en  $A$ , ce qui conduit à :

$$\delta(M) \approx \frac{n_a a x}{D} \quad \text{avec} \quad M(x, y, D)$$

<b>Bilan de ce chapitre</b>
-----------------------------

**Points du cours à connaître**

- Calcul de la différence de marche  $\delta(M)$  dans le montage de base des trous d'Young (avec développement limité).
- Calcul de la différence de marche  $\delta(M)$  dans les montages avec trous d'Young utilisant des lentilles (utilisation du théorème de Malus et du principe du retour inverse).
- Connaître l'allure des surfaces iso-intensité et la forme des franges d'interférences en fonction de la position de l'écran (schéma page 3).
- Interférences en lumière monochromatique avec les trous d'Young : calcul de l'interfrange  $i$ .

**Exercices à travailler :**

- En priorité : 1, 3 et 4
- S'il reste du temps : 2