

Intro: dans la leçon précédente on a ~~étudié~~ étudié interf 2 ondes et en particulier dispositif de fentes de Young

On a vu l'existence des franges d'interf. visibles dans tout le champ d'interférence (ou bouge l'écran et on le voit)

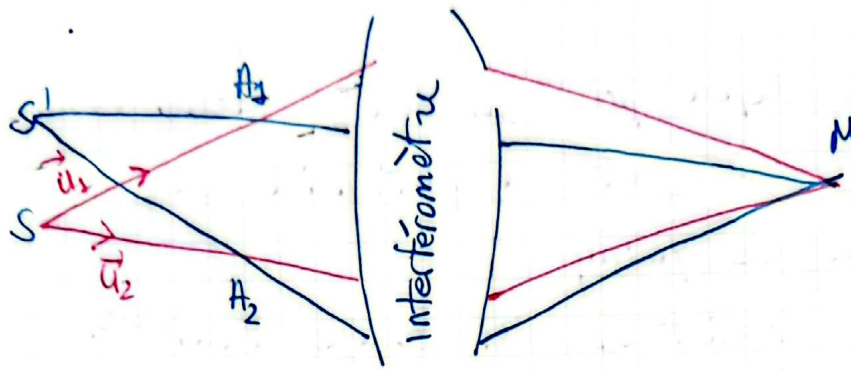
→ Trous d'Young → INTERFÉRENCES DÉLOCALISÉES

BROUILLAGE: Pour source trop étendue des nombreux points de la source donnent lieu à une figure d'interférence en ~~anti~~ anticoincidence

⇒ CONTRASTE  $\approx 0$  pour  $l_s > \frac{\lambda L}{a}$   
(brouillage cohérence spatiale)

### Théorème de localisation

Pour ~~surmonter~~ surmonter ce problème, ~~on~~ nous nous demandons s'il existe, pour certains dispositifs, quelques points ~~particuliers~~ privilégiés de l'espace où  $I(s, u)$  dépend ~~très~~ très peu du point  $s$  de la source (pour avoir ~~des~~ des fig d'interférence en coïncidence pour tous les points source)



M : pas de b... Dans 'a

S, S'

deux points orbitaires de la source

Pour éviter le brouillage ou vent des différences de marche produites :

$$\Delta\delta = \delta(S', M) - \delta(S, M) \equiv 0 \quad [2\pi]$$

$$\delta(S', M) = (S'A_2) + (A_2M)' - (S'A_1) - (A_1M)'$$

$$\delta(S, M) = (SA_2) + (A_2M) - (SA_1) - (A_1M)$$

Stigmatisme parfait  $(A_i M) = (A_i M')$

Où considère qu'on est dans l'air avec  $n \approx 1$

$$\Delta\delta = [S'A_2 - SA_2] - [S'A_1 - SA_1]$$

$$\approx -\vec{SS}' \cdot \vec{u}_2 + \vec{SS}' \cdot \vec{u}_1 = \vec{S'S} \cdot (\vec{u}_2 - \vec{u}_1)$$

Pour respecter  $\Delta\delta = 0$  :

$\rightarrow \vec{SS}' = \vec{0}$  (source ponctuelle)

$\rightarrow \vec{S'S} \perp (\vec{u}_2 - \vec{u}_1)$  : élargissement  $\perp$  aux rayons qui interfèrent (source horizontalisée Young)

$\rightarrow \vec{u}_1 = \vec{u}_2 \Rightarrow$  même rayon incidente  $\rightarrow$  système division d'amplitude

Dans la suite on va étudier deux dispositifs à division d'amplitude : l'interféromètre Michelson (~~qui~~ qui sera aussi pour étudier l'écart entre deux raies jaunes d'une lampe au sodium) et l'interféromètre de Fabry-Pérot.

### MICHELSON :

→ inventé par Albert Michelson pour détecter de très faibles variations de vitesse de la lumière, du ~~due~~ au mouvement relative de la Terre par rapport à l'éther

→ Utilisé par la détection des ondes gravitationnelles (VIRGO, LIGO aux USA)

Michelson géantes de 3km.

Le passage d'une onde produit de variation anisotropes de deux bras de l'interféromètre  
⇒ ~~pas~~ interférence.

#### a) CONSTITUTION INTERFÉROMÈTRE

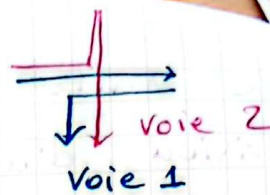
- $M_1$  (mobile),  $M_2$  (fixe)
  - séparatrice (traitée pour être semirefléchiss.)  
compensatrice (pas traitée)
- } inclinaison  $\pi/4$

- Expliquer fonctionnement vis

(6) / (7) ⇒ // entre compensatrice et séparatrice

(pour la clivage)

b) principe de l'interferometre :

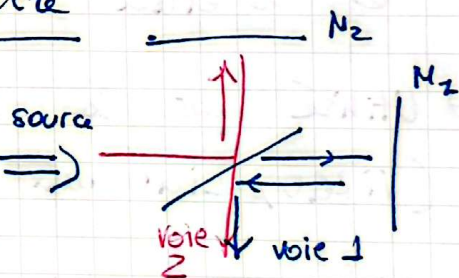


c) Rôle du dispositif séparateur :

- claque rayons à travers à fois l'épaisseur d'une lame  $\Rightarrow$  rendre les deux voies équivalentes
- Indispensable en lumière polychromatique car ~~l'élément~~ coupleur et séparateur sont des milieux dispersifs

d) Flux dans l'interferometre

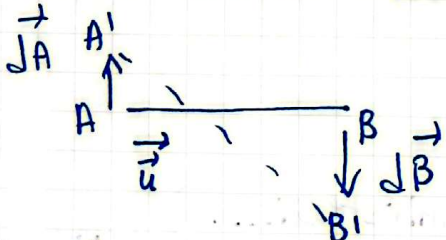
- On considère une seule lame semi-réfléchissante d'épaisseur  $\Rightarrow$  nul



- $E_s = TRE_i = (1-R)RE_i$   
 $\downarrow$   
 sortant pour les deux

$R = 0.5 \Rightarrow E_s \text{ max}$

Détails calcul :  $\Delta S$



$\vec{AB}' = \vec{AB}$   
 $-\vec{dA} + \vec{dB}$

Autrement

$\vec{S'A_1} \neq \vec{SS'} = \vec{SA_1}$

$\|\vec{S'A_1}\| = \sqrt{\vec{SA_1}^2 + \vec{SS'}^2 + 2\vec{SS'} \cdot \vec{SA_1}}$

$\vec{AB} = AB \vec{u}, \|\vec{u}\|=1 \Rightarrow \vec{u} \cdot \vec{u} = 0$  si  $\vec{SS'} \ll \vec{SA_1}$

$\Delta(\vec{AB}) = -\vec{dA} + \vec{dB} = d(AB) \cdot \vec{u} + \frac{\vec{AB} \cdot \vec{dA}}{0} = \lambda \|\vec{S'A_1}\| \approx \|\vec{SA_1}\| \cdot x$

$\Rightarrow \Delta(AB) = (\vec{dB} - \vec{dA}) \cdot \vec{u} \quad \left(1 + \frac{\vec{SS'} \cdot \vec{SA_1}}{\|\vec{SA_1}\|^2}\right)$

On va étudier le fonctionnement d'un michelson ~~avec~~ éclairé avec une source étendue:

- 1) Mirrors  $\perp$  entre eux
- 2) Même distance entre  $M_1$  et sep. et  $M_2$  et separatr. ~~et~~ mais incliné

$$(SM)_{voie 1} = (SI_1) + \frac{\lambda_0}{2} + (I_1 J) + (JM)$$

$$(SM)_{voie 2} = (SK) + (KI_2) + \frac{\lambda_0}{2} + (I_2 M)$$

MICHELSON UNE LAME D'AIR: (tout se passe comme s'il y avait une lame d'air entre

↓  
Rayons sortants ~~100~~ //

interf  $\rightarrow \infty$  (\*)

Pour raison de symétrie ~~et~~

$$SI_1 = S'I_1' = S_2 I_1'$$

$$I_1 J = I_1' J$$

Il faut calculer ~~(I\_2 M)~~  $(I_1' M) - (I_2 M)$

On peut montrer que ça est équivalente à

$$\delta(H) = (S_1 M) - (S_2 M) = S_1 H = \boxed{2e \cos i} \quad \begin{matrix} \text{DIFFÉRENCE} \\ \text{MARCHE} \end{matrix}$$

(\*) pour l'observation lentille convergente  
écran dans le plan image de la lentille

① ~~Il faut trouver l'interf~~  $\Rightarrow$  dépend de  $\delta$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \delta(H)}{\lambda}$$

Symétrie révolution autour de  $S_1 S_2 \Rightarrow$  Fig. interf =  
ANNEAUX  
(d'épaisseur  $\lambda$  en  $i$  ou  $o$ )

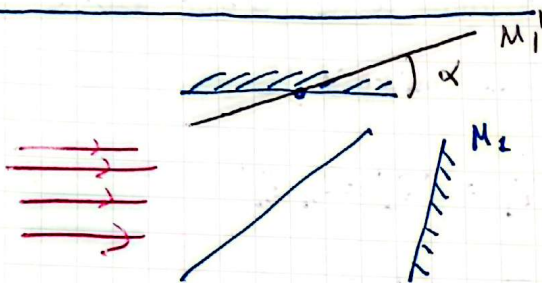
Ordre d'interférence =  $p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda_0}$

→ fonction décroissante de  $i$

→  $p(i=0) = p_0 + \varepsilon$   $0 < \varepsilon < 1$

→  $p_0 = \frac{2ne}{\lambda} \cos i \approx \frac{2ne}{\lambda_0} \left( 1 - \frac{i^2}{2} \right) = \frac{2ne}{\lambda_0} \left( 1 - \frac{r_1^2}{f_1^2} \right)$   
 gauss  $\tan i = \frac{r}{f} \approx i$

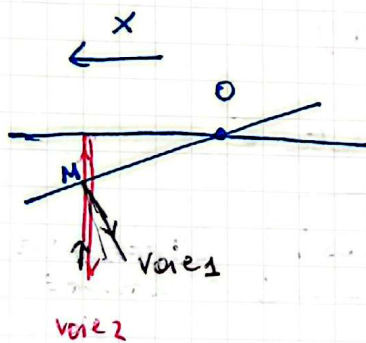
ou va au contact optique  $e=0$  (teinte plate) et on réalise MICHELSON ~~un~~ COIN D'AIR



→ on admet que les interférences sont localisées au voisinage de miroirs

Eclairement incidence normale

→ on veut la figure d'interférence



différence de marche

$\delta(M) = 2e(M) = 2x \alpha^n$  indice

car  $\tan \alpha = \frac{e(x)}{x} \approx \alpha$

⇒ Figure d'interférence ⇒ Frange rectiligne (d'égale épaisseur)

Interfrange ou Frange d'ordre  $p$ :  $\delta = p\lambda$

$x_p = \frac{p\lambda}{2n\alpha} \Rightarrow i = x_{p+1} - x_p = \frac{\lambda}{2n\alpha}$

## Doublet sodium :

$$\lambda_1 = 589,00 \text{ nm} , \lambda_2 = 589,597 \text{ nm}$$

$$\lambda_1 = \lambda_m - \Delta\lambda$$

$$\lambda_2 = \lambda_m + \Delta\lambda$$

$$I(\delta) = 2I_0 \left( 1 + \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_2}\right) \right) + 2I_0 \left( 1 + \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_1}\right) \right)$$

~~$2I_0$~~

Ou utilise :  $\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}$

$$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \simeq \frac{2}{\lambda_m} , \quad \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \simeq \frac{2}{\lambda_m^2} \Delta\lambda$$

$$= 4I_0 \left( 1 + \cos\left(\frac{2\pi\Delta\lambda\delta}{\lambda_m^2}\right) \cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda_m}\right) \right)$$

FACTEUR de CONTRASTE

Ou chariotte et on change la valeur de  $\delta$  (variable)

Pour certains valeurs de  $\delta$  on a anticoïncidence :

$$\delta = m_1 \lambda_1 = \left(m_2 + \frac{1}{2}\right) \lambda_2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) \delta = \left(m_1 - m_2\right) + \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \delta \simeq \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda_m^2}{\Delta\lambda}$$

$$\frac{\delta}{\lambda_1} = p_1$$

$$\Rightarrow p_1 - p_2 = k + \frac{1}{2}$$

~~MESURES~~ MESURES :

Ou chariotte et on change  $e$  donc  $\delta$

Ou part d'un brouillage et on mesure la position sur le vernier  $\Rightarrow p_1$

Ou compte un certain nombre  $n$  de brouillages et on remesure la position  $p_2$

$$\frac{p_2 - p_1}{h} = \frac{\lambda_m^2}{4\Delta\lambda}$$

$$p_2 = 19,375$$

$$p_1 = 17,910$$

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = 0,005$$

$$\Rightarrow \Delta e = \frac{p_2 - p_1}{5} = 0,293 \text{ mm}$$

$$\text{Erreur } \Delta e \approx \frac{1}{5} \sqrt{2} \cdot 0,005 \approx 0,002$$

ou

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2\Delta e} \approx 5,94 \text{ \AA} \quad (10^{-10} \text{ m})$$

$$\Delta(\Delta\lambda) = \frac{\lambda_m^2 \Delta(\Delta e)}{2(\Delta e)^2} \approx 0,05 \text{ \AA} \quad \left( \begin{array}{l} \text{Propagation} \\ \text{des erreurs} \end{array} \right)$$

$$\Delta\lambda + \Delta(\Delta\lambda) = (5,94 \pm 0,05) \text{ \AA}$$

$$\text{Valeur totale } 5,97 \text{ \AA}$$

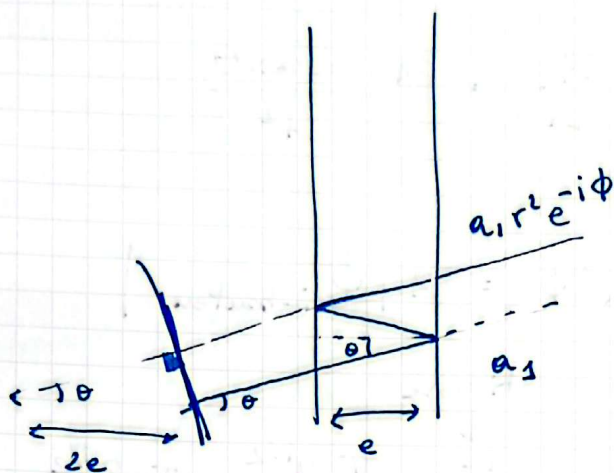
Nombre de maxima d'éclairement entre

$$\text{deux brouillages} \quad \frac{\lambda_m}{\Delta\lambda} = N \approx 1000 = \frac{589,30}{0,59}$$

sodium

Impossible de voir avec les trous car on n'a pas autant de pics à cause de la diffraction

# FABRI-PEROT



$r, t$  coeff reflex, transm.  
 $\in \mathbb{R}$

$$|r|^2 + |t|^2 = 1$$

Difference de phase  
entre 2 onde sortantes  
successive

$$\Delta\phi = 2e \cos \theta$$

$$a_1 = a_0 t^2$$

- Amplitude de la superposition de  $N$  ondes  
(serie geometrique de raison  $r^2 e^{-i\phi}$ )

$$a = a_1 \frac{1 - r^{2N} e^{-iN\phi}}{1 - r^2 e^{-i\phi}}$$

- Intensité en fonction du dephasage:

$$I = \left| \frac{a_1}{1 - r^2 \cos \phi + i r^2 \sin \phi} \right|^2 = \frac{|a_1|^2}{1 + r^4 - 2r^2 \cos \phi}$$

$$\begin{aligned} \cos \phi &= \cos^2 \phi/2 - \sin^2 \phi/2 \\ &= 1 - 2 \sin^2 \phi/2 \end{aligned}$$

$$= \frac{I_{\max}}{1 + m \sin^2 \phi/2}$$

$$I_{\max} = \frac{|a_1|^2}{(1 - r^2)^2} = |a_0|^2$$

↓  
incidence

$$m = \frac{4r^2}{(1 - r^2)^2}$$

↑  
 $r$  quel  
 $m$  grande

$$|\phi_{\text{mi-hauteur}}| \sim \frac{2}{\sqrt{m}}$$

$$|\sin \frac{\phi}{2}| = 1/\sqrt{m} \sim \frac{\phi}{2}$$

## Pouvoir de resolution

$$\Delta\lambda = \left| \frac{d\lambda}{d\phi} \right| \Delta\phi$$

$$\left| \frac{d\phi}{d\lambda} \right| = 2\pi \frac{2e \cos \theta}{\lambda^2}$$

$$\Delta\phi = 2 \left| \phi_{\text{mi-hauteur}} \right|$$

$$\Delta\lambda = \frac{4}{\sqrt{m}} \cdot \frac{\lambda^2}{2\pi 2e \cos \theta}$$

finesse  
↓  
 $F = \frac{\pi m^{1/2}}{1-R} = \frac{\pi R^{1/2}}{1-R}$

Pouvoir resolution  $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\pi m^{1/2} e \cos \theta}{1}$

- Haute pour resolution  $\Rightarrow$  utilisation en spectrometrie
- Pics fins  $\Rightarrow$  grandes finesse  
↓  
spectrometrie
- ~~Cet~~ Laser : cavité resonante qui permet de selectionner certains frequences d'emission du laser.

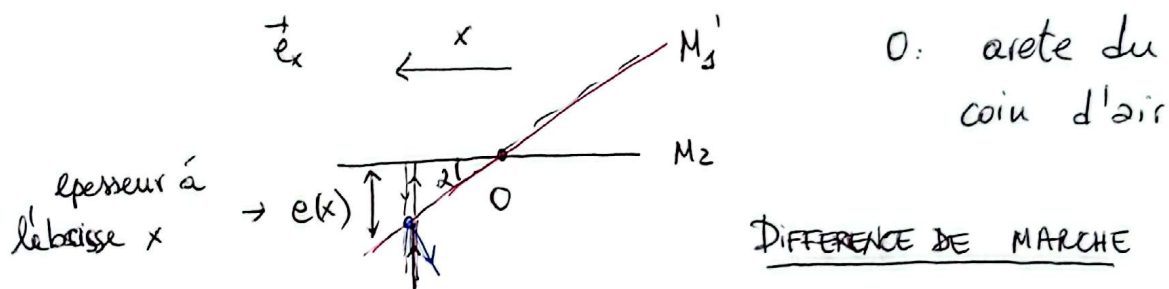
## Coin d'air

- On éclaire avec une source quasi //
- On admet une localisation des interférences à proximité des miroirs

⇒ OBJECTIF : - Étudier la fig d'interférence  
- Comment on peut s'en étudier

Hypothèses : Source monochromatique

Incidence normale (à  $M_2$ )



DIFFERENCE DE MARCHE

FIGURE D'INTERFERENCE

$$\delta = 2e(x)n, \quad \tan \alpha = \frac{e(x)}{x}$$

$$\cong 2x \alpha n$$

$$\text{frange} = \left\{ \frac{M}{\delta} = \text{cte} \right\} = \left\{ \frac{M}{x} = \text{cte} \right\} \Rightarrow \text{FRANGES RECTILIGNES}$$

$$\text{POSITION DE LA FRANGE d'ordre } p: \quad p = \frac{\delta}{\lambda} \Rightarrow x_p = \frac{p\lambda}{2n\alpha}$$

$$\text{INTERFRANGE} : x_{p+1} - x_p = \frac{\lambda}{2n\alpha}$$

$$\text{FRANGE D'ORDRE } 0 : x=0 \text{ arête du coin d'air}$$

# COMMENT OBSERVER LA FIG D'INTERF

Relation de conjugation

$$\frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{d} + \frac{1}{D} = \frac{1}{f'}$$

$$i = |\overline{AB}|$$

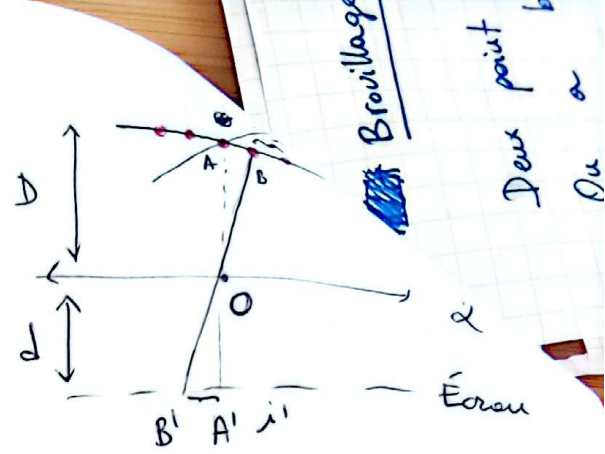
$$i' = |\overline{A'B'}|$$

$$\Rightarrow i' = |\gamma| i$$

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$$

$$\boxed{i' = \frac{d}{D} i}$$

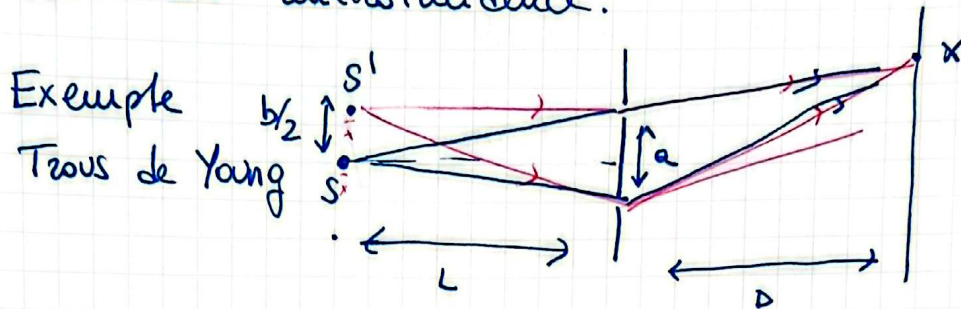
RELATION entre  
INTERFRANGES



## Brouillage en source étendue :

Deux points de la source sont incohérents.

On a brouillage si les deux figures d'interférence sont en antécidence.



$$\delta(s, u) = \frac{ax}{D}, \quad \delta(s', u) = \frac{ax}{D} + \frac{ab/2}{L}$$

Pour avoir antécidence :

$$\delta(s', u) - \delta(s, u) = \left(p + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

Pour  $p = 0$  :  $\Rightarrow \frac{ab}{2L} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow b = \frac{\lambda L}{a}$

DONNER UN ORDRE DE GRANDEUR

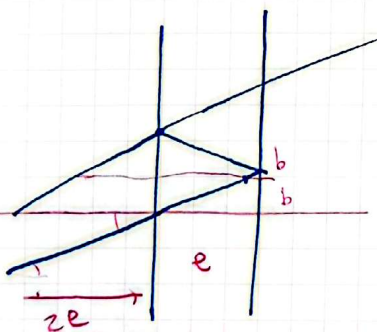
$$a \approx \text{mm} \quad (\text{ou } 10^{-1} \text{ mm})$$

$$\lambda \approx 600 \text{ nm}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

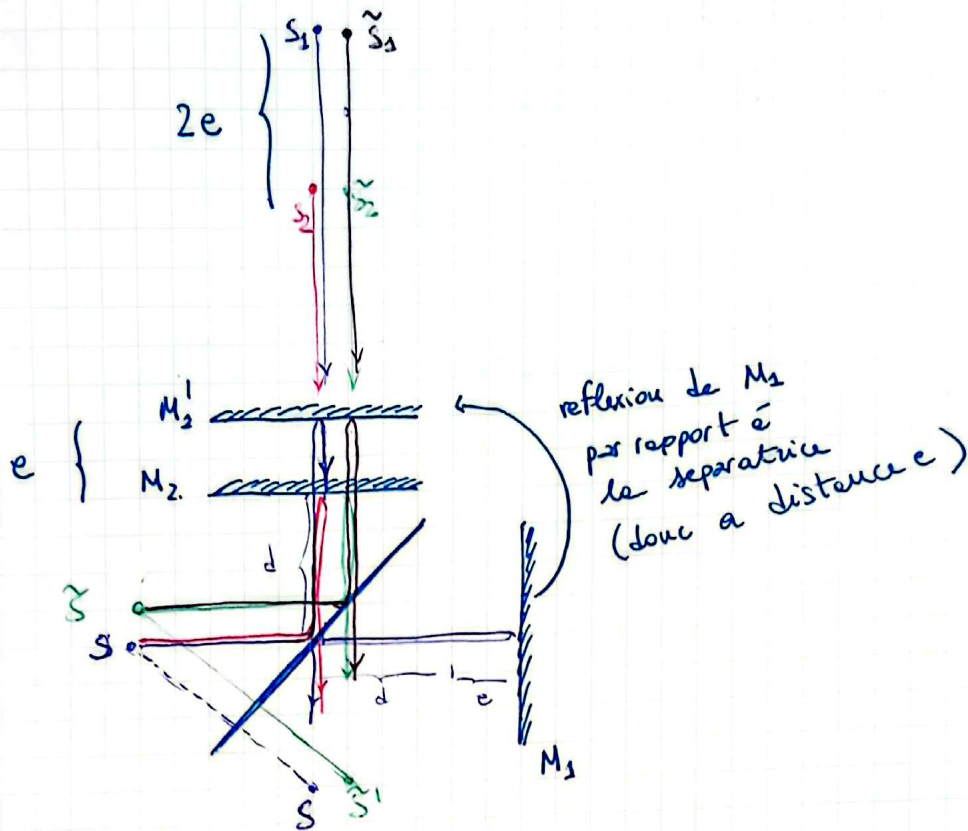
$$b = \frac{10^{-3} \text{ m} \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{10^{-3} \text{ m}} \approx 10^{-3} \text{ m}$$

FABRI - PEROT

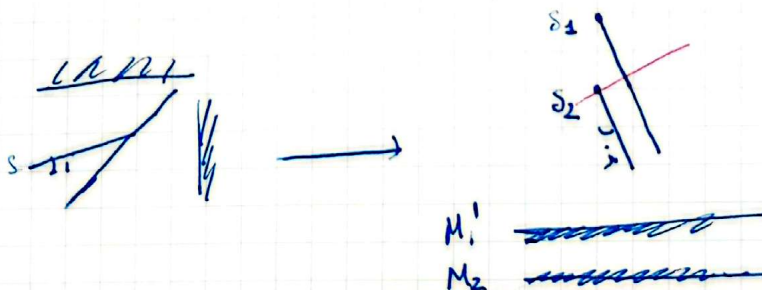


Trouver une forme simple  
d'expliquer le Michelson

# Michelson schéma simple



- 1) Tout se passe comme ~~si~~ pour un système à deux miroirs séparés d'une LAME D'AIR d'épaisseur  $e$  (On appelle ça l'interféromètre replié)
- 2) Même différence de marche  $\frac{2e}{\lambda}$  qui vaut  $2e$   
 $\rightarrow$  ON PEUT TRAVAILLER AVEC SOURCE INFINIMENT ETENDUE
- 3) Tout se passe comme si j'ai deux points de source derrière mes miroirs  $M_2$  et  $M_1'$  (séparés de  $2e$ )
- 4) Même chose pour rayons avec incidence  $i$



À VOIR SUR DIAPOS

(construction plus compliquée)

5) Pour calculer la différence de marche :

- Principe retour inverse de la lumière
- Theoreme Malus

$$\Rightarrow \delta = 2e \cos i$$