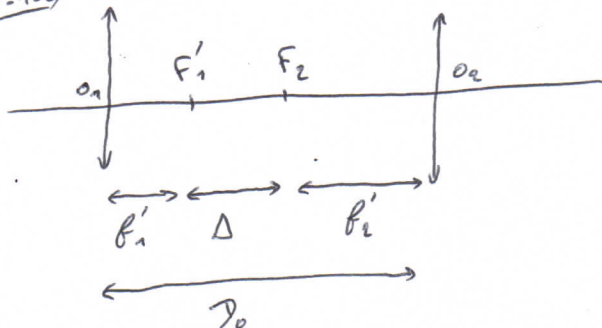


PARTIE A : Microscope optiqueA.1- Le microscope classique :

A.1.1) * les rayons lumineux doivent être peu inclinés par rapport à l'axe optique des lentilles.

* les rayons lumineux doivent arriver sur les lentilles au voisinage du centre optique (à une distance faible devant le rayon de la lentille).

A.1.2)



$$\Delta = \overline{F_1'F_2} = \overline{F_1'O_1} + \overline{O_1O_2} + \overline{O_2F_2}$$

$$= -f_1' + D_0 - f_2'$$

$$\Delta = D_0 - f_1' - f_2'$$

$$\Delta = 190 - 5 - 15 = 100 \text{ mm}$$

$$\Delta = 100 \text{ mm}$$

A.1.3.1) $\frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f_1'}$ avec $\overline{O_1A'} = \overline{O_1F_1'} + \overline{F_1'F_2}$
 $= f_1' + \Delta$

$$\frac{1}{f_1' + \Delta} - \frac{1}{-d} = \frac{1}{f_1'} \Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{1}{f_1'} - \frac{1}{f_1' + \Delta}$$

$$\frac{1}{d} = \frac{\Delta}{f_1'(f_1' + \Delta)} \Rightarrow d = f_1' \left(1 + \frac{f_1'}{\Delta} \right)$$

$$d = 5 \left(1 + \frac{5}{100} \right) = 5 \times 1,05 = 5,25 \text{ mm} = d$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

(Δ nb chiffres significatifs)

A.1.3.2) $\gamma_1 = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A}} = \frac{f_1' + \Delta}{-d}$

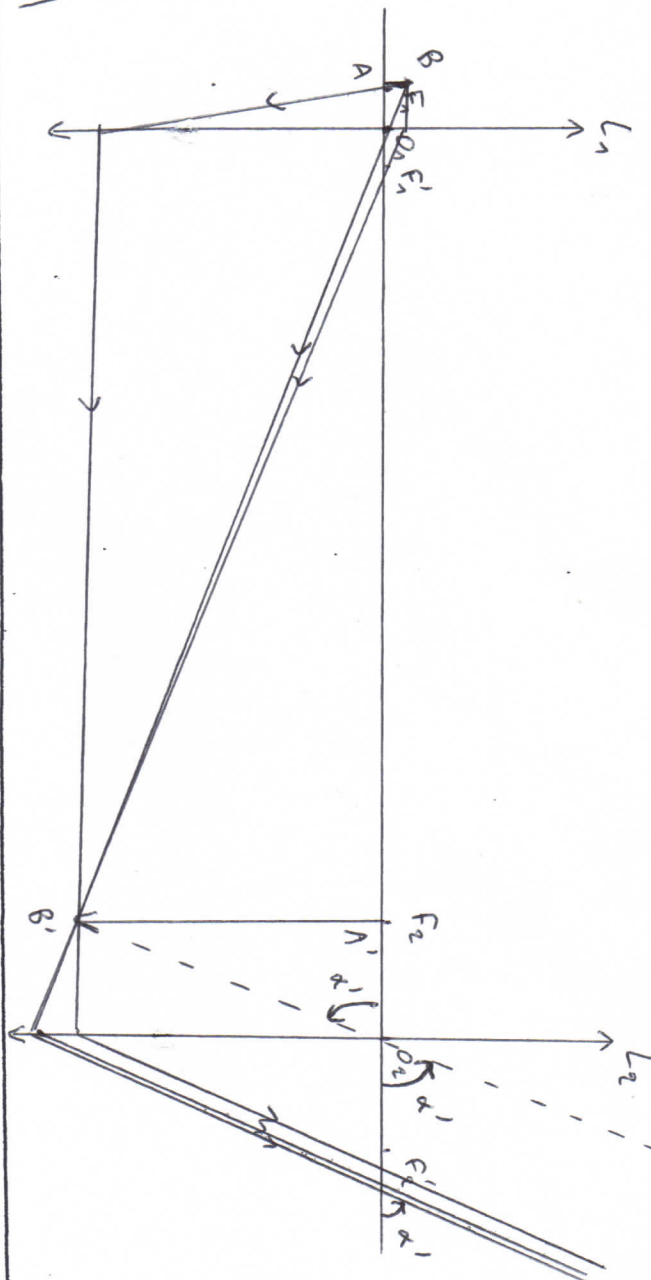
$$\gamma_1 = \frac{\Delta \left(1 + \frac{f_1'}{\Delta} \right)}{-f_1' \left(1 + \frac{f_1'}{\Delta} \right)} \Rightarrow \gamma_1 = -\frac{\Delta}{f_1'}$$

$$\gamma_1 = \frac{-100}{5} = -20$$

$$\gamma_1 = -2 \cdot 10^1$$

A.1.3.3) L'image intermédiaire étant dans le plan focal objet de L_2 , l'image finale sera à l'infini. Ainsi, l'œil de l'observateur n'a pas à accommoder.

A.1.3.4)

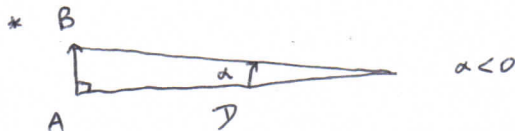


A-1.4) * Dans le triangle $O_2 F_2 B'$: $\tan \alpha' = \frac{A'B'}{F_2 O_2} = \frac{AB'}{f_2'}$

ou $\alpha' \ll 1 \Rightarrow \tan \alpha' \simeq \alpha' \Rightarrow \alpha' = \frac{A'B'}{f_2'}$

ou $A'B' = |\gamma_1| \cdot AB \Rightarrow \alpha' = \frac{|\gamma_1| AB}{f_2'}$

$\Rightarrow \alpha' = \frac{\Delta}{f_1' f_2'} AB$



$\tan |\alpha| \simeq |\alpha| \quad (|\alpha| \ll 1)$
 $= \frac{AB}{D} \Rightarrow AB = D |\alpha|$

* $\Rightarrow \alpha' = \frac{\Delta}{f_1' f_2'} D |\alpha|$

$\Rightarrow G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right| = \frac{\Delta D}{f_1' f_2'}$

$G = \frac{100 \times 250}{5 \times 15} \Rightarrow G = 3 \cdot 10^2$

A-1.5.1) * En position 1, la partie mobile est à la graduation 40,0

* En position 2, la partie mobile est à la graduation 48,0.

* 1 graduation de la partie mobile correspond à un centième de mm (50 graduations pour un demi mm)

$\Rightarrow \epsilon = (48 - 40) \times \frac{1}{100} \Rightarrow \epsilon = 0,08 \text{ mm}$

* incertitude de mesure:

Pour chaque mesure: $\Delta x = \frac{1 \text{ graduation}}{\sqrt{12}} = \frac{0,01 \text{ mm}}{\sqrt{12}}$

ou $\epsilon = x_2 - x_1 \Rightarrow \Delta \epsilon = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$

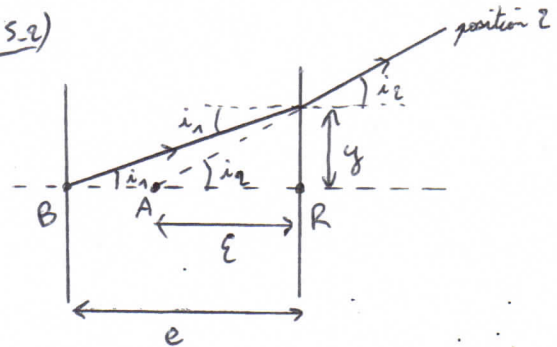
$\Rightarrow \Delta \epsilon = \sqrt{2} \Delta x = \frac{0,01 \text{ mm}}{\sqrt{6}}$

Pour avoir intervalle de confiance à 95%: $k=2$

$k \Delta \epsilon = 2 \Delta \epsilon = \frac{2}{\sqrt{6}} 0,01 \text{ mm} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 0,01 \text{ mm} \simeq 0,008 \text{ mm}$

$\Rightarrow \epsilon = 0,08 \text{ mm} \pm 0,008 \text{ mm}$

A-1.5.2)



Si la lame n'était pas en verre mais si c'était de l'air, alors la position de la pastille bleue serait en A (rayon non dévié).

Et alors $AR = \epsilon$

$y = AR \tan i_2 \simeq \epsilon i_2 \quad (i_2 \ll 1)$

$= BR \tan i_1 \simeq e i_1 \quad (i_1 \ll 1)$

ou loi de Descartes: $n \sin i_1 = \sin i_2$

$\Rightarrow n i_1 \simeq i_2$

$\Rightarrow \epsilon i_2 = \epsilon n i_1 = e i_1$

$\Rightarrow e = n \epsilon$

$e = 1,5 \times 0,080 \Rightarrow e = 0,12 \text{ mm}$

PARTIE A : Microscopie optique

A-2. Le microscope confocal :

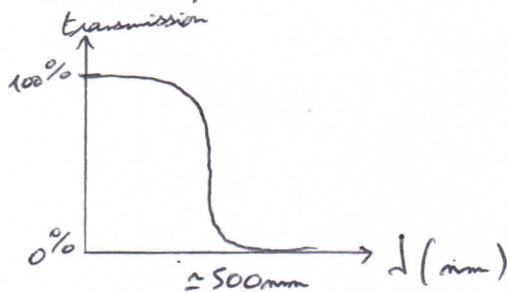
A-2.1.1) * visible : $400\text{nm} < \lambda < 800\text{nm}$

* UV (ultraviolet) : $\lambda < 400\text{nm}$

A-2.1.2) Le filtre 1 ne coupe pas complètement les faibles longueurs d'onde ; or on ne veut détecter que les longueurs d'onde $\lambda > 500\text{nm}$ (cf figure 4), c'est-à-dire les longueurs d'onde absorbées puis émises par le FITC.

⇒ le filtre 2 est plus adapté.

A-2.1.3) Il faut que le filtre d'excitation coupe les longueurs d'onde $> 500\text{nm}$, car ces longueurs d'onde ne seront pas absorbées par le FITC et vont perturber les observations.



A-2.1.4) LASER : rayonnement quasi-monochromatique

largeur spectrale : plusieurs raies

A-2.2.1) * la phase de l'onde est $(\omega t - k_z)$
 $= (\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \Rightarrow \vec{k} \propto \vec{u}_z$

L'onde se propage donc dans la direction de l'axe (Oz) dans le sens des z croissants.

* $\vec{E} \propto \vec{u}_x$ et dans un plan $z = c \cdot t$

⇒ l'onde est polarisée rectilignement selon x .

A-2.2.2) $\mu_0 \epsilon_0 c^2 = 1 \Rightarrow c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

$$c = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{1}{36\pi \cdot 10^9}}} = \sqrt{9 \cdot 10^8 \cdot 10^7}$$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (c'est connu !)

A-2.2.3) $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{2\pi \times 3 \cdot 10^8}{628 \cdot 10^{-3}}$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14}{628} \times 3 \cdot 10^{17} = \frac{1}{100} \times 3 \cdot 10^{17}$$

⇒ $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} = 3 \cdot 10^{15} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \frac{2 \times 3,14}{628 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{100} \frac{1}{10^{-3}} = 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda} = 1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

A-2.2.4) relation de structure d'une OPPM :

$$\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega} = \frac{\frac{\omega}{c} \vec{u}_z \wedge \vec{E}}{\omega} = \frac{\vec{u}_z \wedge \vec{E}}{c}$$

$k = \frac{\omega}{c}$ (relation de dispersion d'une OPPM dans le vide)

$$\vec{B} = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t - k_z) \vec{u}_z \wedge \vec{u}_x$$

$\vec{B} = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t - k_z) \vec{u}_y$

A-2.2.5) * vecteur de Poynting $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$

$$\vec{\Pi} = \frac{E_0 \cos(\omega t - k_z) \vec{u}_x \wedge \frac{E_0}{c} \cos(\omega t - k_z) \vec{u}_y}{\mu_0}$$

$$\vec{\Pi} = \frac{E_0^2}{\mu_0 c} \cos^2(\omega t - k_z) \vec{u}_z \propto \vec{u}_z \text{ on}$$

* $\langle \vec{\Pi} \rangle = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$ car $\langle \cos^2(\omega t - k_z) \rangle = \frac{1}{2}$

$$* P = \langle \pi \rangle \Delta = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} \Delta$$

$$\Rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{2\mu_0 c P}{\Delta}}$$

$$E_0 = \sqrt{\frac{2 \times 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^8 \times 0,1}{0,75 \cdot 10^{-6}}}$$

$$= \sqrt{\frac{24 \times 3,14}{0,75} \cdot 10^6} = \sqrt{\frac{75}{0,75} \cdot 10^6}$$

$$E_0 \approx 1 \cdot 10^4 \text{ V.m}^{-1}$$

A-2-3) Le phénomène de diffraction limite généralement la résolution d'un instrument d'optique, et en particulier celle du microscope.

PARTIE B : Microscope électronique à balayage

B.1. Aspect électrique :

B.1.1) * $U = V_1 - V_2 > 0 \Rightarrow V_1 > V_2$

* $\vec{E} = -\vec{\text{grad}} V \Rightarrow \vec{E}$ est dirigé dans le sens des potentiels décroissants, donc de l'armature 1 vers l'armature 2

* $\vec{F} = q\vec{E} = -e\vec{E}$ donc $\vec{F}$ dirigée de 2 vers 1
 $\Rightarrow$ les e^- doivent être émis sur l'armature 2

B.1.2) équation de Poisson : $\Delta V + \frac{\rho}{\epsilon_0} = 0$

Ceci découle de l'équation de Poisson-Gauss : $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

ou $\vec{E} = -\vec{\text{grad}} V$ (car $\vec{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0}$ équation de Maxwell-Faraday)

$\Rightarrow \text{div}(-\vec{\text{grad}} V) = -\Delta V = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ CQFD

Dans le vide : $\rho = 0 \Rightarrow \Delta V = 0$ (équation de Laplace)

B.1.3) V_1 ———— d $\uparrow$ z
 V_2 ———— 0

$\Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \frac{d^2 V}{dz^2} = 0$
 unidimensionnel

$\Rightarrow V(z) = Az + B$

conditions aux limites (continuité du potentiel) :

$V(0) = V_2$ et $V(d) = V_1$

$\Rightarrow V(z) = \frac{V_1 - V_2}{d} z + V_2$

$\vec{E} = -\vec{\text{grad}} V = -\frac{\partial V}{\partial x} \vec{u}_x - \frac{\partial V}{\partial y} \vec{u}_y - \frac{\partial V}{\partial z} \vec{u}_z$
 unidimensionnel

$\vec{E} = -\frac{dV}{dz} \vec{u}_z = -\frac{V_1 - V_2}{d} \vec{u}_z$

$\vec{E} = -\frac{U}{d} \vec{u}_z$ $\propto -\vec{u}_z$ OK dans le sens des potentiels décroissants

B.1.4.1) * système : $m e^-$

* référentiel : terrestre supposé galiléen

* actions : $\rightarrow$ force électrique : $\vec{F} = -e\vec{E}$

$\rightarrow$ poids : négligé

$\rightarrow$ interactions entre e^- : négligées

$\Rightarrow m \vec{a} = -e\vec{E} = \frac{eU}{d} \vec{u}_z$

$\Rightarrow \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{eU}{md} \vec{u}_z$

$\vec{v}(t=0) = \vec{0}$
 $\vec{a} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{eU}{md} \end{vmatrix} \Rightarrow \vec{v} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{eU}{md} t + c^- \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{eU}{md} t \end{vmatrix}$

$\Rightarrow \text{OM} \begin{vmatrix} c^- \\ c^- \\ \frac{eU}{2md} t^2 + c^- \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{eU}{2md} t^2 \end{vmatrix}$
 conditions initiales

$y = \frac{eU}{2md} t^2 = d$ si $t_1 = d \sqrt{\frac{2m}{eU}}$

et alors $v = \frac{eU}{md} t_1 = \frac{eU}{md} d \sqrt{\frac{2m}{eU}}$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

Autre méthode : thm de l'énergie cinétique

$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v^2 - 0 = W_{\vec{F}} = \int_2^1 \vec{F} \cdot d\vec{l}$
 $= \int_2^1 -e\vec{E} \cdot d\vec{l} = -e \left(-\frac{U}{d} \right) \int_2^1 \vec{u}_z \cdot d\vec{l}$
 $= \frac{eU}{d} d = eU$

$$\frac{1}{2} m v^2 = eU \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

$$v = \sqrt{2 \times 2 \cdot 10^{11} \times 10^5} \Rightarrow v = 2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

→ la mécanique classique n'est pas utilisable, il faut utiliser la mécanique relativiste.

B-1-4-2) $p = m v = \frac{h}{\lambda}$
↑
relation de de Broglie

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{m v}$$

$$\lambda = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\lambda \approx 4 \text{ pm}$$

B-1-5-1) théo de l'énergie cinétique: $\Delta E_c = W_F$

$$\Delta E_c = \left((\gamma - 1) m c^2 \right)_{\text{final}} - \left((\gamma - 1) m c^2 \right)_{\text{initial}}$$

$$\gamma_{\text{final}} = \gamma \quad \text{et} \quad \gamma_{\text{initial}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}} = 1$$

$$\Rightarrow \Delta E_c = (\gamma - 1) m c^2 = W_F = eU$$

↑
cf B-1-4-1)

$$\Rightarrow \gamma = 1 + \frac{eU}{m c^2}$$

relation de de Broglie $p = \frac{h}{\lambda}$ ou $p = \gamma m v$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{\gamma m v}$$

$$\text{or } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}} \Rightarrow 1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 = \frac{1}{\gamma^2}$$

$$\Rightarrow v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{m c \sqrt{\gamma^2 - 1}}$$

B-1-5-2) $\gamma = 1 + \frac{eU}{m c^2} = 1 + 2 \cdot 10^{11} \frac{10^5}{(3 \cdot 10^8)^2}$

$$\gamma = 1 + \frac{2}{9} = \frac{11}{9} \Rightarrow \gamma \approx 1,2$$

$$\lambda = \frac{h}{m c \sqrt{\gamma^2 - 1}} = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{11}{9} \right)^2 - 1}} = \frac{7}{3 \times 0,7} 10^{-12}$$

$$= \frac{10}{3} \cdot 10^{-12} = 3 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \lambda \approx 3 \text{ pm}$$

B-1-5-3) λ varie très peu entre les 2 modèles

$$\left(\frac{7}{2} = 3,5 \mid \frac{10}{3} = 3,3 \right)$$

* Avantage du microscope électronique / microscope optique:

$$\lambda_e = 3 \text{ pm} \ll \lambda_{\text{photon}} \approx 500 \text{ nm}$$

→ la résolution sera bien meilleure car on sera beaucoup moins limité par la diffraction.

PARTIE B : Microscopie électronique à balayageB.2. Déflecteur magnétique :

B.2.1) force de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = -e\vec{v} \wedge \vec{B}$

puissance : $\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v} = (\underbrace{q\vec{v} \wedge \vec{B}}_{\perp \vec{v}}) \cdot \vec{v} = 0$

donc la force de Lorentz ne travaille pas.

système : un e^-

référentiel : terrestre supposé galiléen

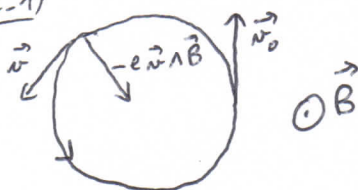
actions : $\rightarrow$ force de Lorentz

$\rightarrow$ poids négligé

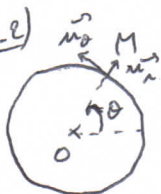
théorème de l'énergie cinétique : $\Delta E_c = W$

or $W = 0 \Rightarrow \Delta E_c = 0 \Rightarrow v = c^k = v_0$

$\Rightarrow$ mouvement uniforme

B.2.2.1)

$-e\vec{v} \wedge \vec{B}$ est centripète, d'où le sens de $\vec{B}$

B.2.2.2)

$$\vec{ON} = R \vec{u}_n$$

$$\vec{v} = R \dot{\theta} \vec{u}_t$$

$$\vec{a} = -R \ddot{\theta} \vec{u}_n + R \dot{\theta}^2 \vec{u}_n$$

$$v = R \dot{\theta} = c^k$$

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{-v^2}{R} \vec{u}_n$$

RFD : $m \vec{a} = -e \vec{v} \wedge \vec{B}$

$$\Rightarrow -\frac{mv^2}{R} \vec{u}_n = -e v B \vec{u}_n$$

$$\Rightarrow \boxed{R = \frac{mv}{eB}}$$

B.2.3) $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(\gamma m \vec{v}) = \gamma m \frac{d\vec{v}}{dt}$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \gamma^k \text{ car } v = c^k \text{ (uniforme)}$$

$$= -e \vec{v} \wedge \vec{B}$$

$\Rightarrow$ il suffit de remplacer m par γm

$$\Rightarrow \boxed{R = \frac{\gamma m v}{eB}}$$

PARTIE B : Microscopie électronique à balayageB.3. Lentille magnétique :

B.3.1) * le plan contenant Γ et l'axe (Oz) est plan d'antisymétrie de la distribution de courant. Or $\vec{B}$ est un pseudo-vecteur, donc $\vec{B}(\Gamma) \in$ à ce plan

$$\Rightarrow \vec{B}(\Gamma) = B_r \vec{u}_r + B_\phi \vec{u}_\phi + B_z \vec{u}_z$$

* on a invariance de la distribution de courant par rotation autour de $(Oz) \Rightarrow \|\vec{B}\| (r, \phi, z)$

$$\Rightarrow \vec{B}(\Gamma) = B_r(r, z) \vec{u}_r + B_z(r, z) \vec{u}_z$$

B.3.2) $\vec{B}$ est le plus intense là où les lignes de champ sont les plus resserrées, à savoir à l'intérieur de la bobine (propriété issue de la conservation du flux du champ magnétique).

B.3.3) système : e^- référentiel : torseur suppose galiléen

$$\text{actions : } \vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B} = -e \vec{v} \wedge \vec{B}$$

$$\vec{O\Gamma} = r \vec{u}_r + z \vec{u}_z$$

$$\Rightarrow \vec{v} = \dot{r} \vec{u}_r + r \dot{\theta} \vec{u}_\theta + \dot{z} \vec{u}_z$$

$$\Rightarrow \vec{a} = (\ddot{r} - r \dot{\theta}^2) \vec{u}_r + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}) \vec{u}_\theta + \ddot{z} \vec{u}_z$$

$$\alpha \quad \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{1}{r} (r^2 \ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}) = 2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta}$$

$$\Rightarrow \vec{a} \begin{cases} \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \\ \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) \\ \frac{d^2 z}{dt^2} \end{cases}$$

$$\vec{F} = -e \vec{v} \wedge \vec{B} = -e \begin{vmatrix} \dot{r} \\ r\dot{\theta} \\ \dot{z} \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} B_r \\ 0 \\ B_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -e r \dot{\theta} B_z \\ -e \dot{z} B_r + e \dot{r} B_z \\ e r \dot{\theta} B_r \end{vmatrix}$$

$$\text{RFD : } m \vec{a} = \vec{F} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = -\frac{e}{m} r \frac{d\theta}{dt} B_z \\ \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{e}{m} \left(\frac{dr}{dt} B_z - \frac{dz}{dt} B_r \right) \\ \frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{e}{m} r \frac{d\theta}{dt} B_r \end{cases}$$

$$\text{B.3.4)} \quad \frac{d^2 r}{dz^2} = -\frac{e^2}{4m^2 v_0^2} r_0 B_z^2$$

on intègre entre $-r_0$ et r_0 :

$$\Rightarrow \left(\frac{dr}{dz} \right)_{r_0} - \left(\frac{dr}{dz} \right)_{-r_0} = -\frac{e^2}{4m^2 v_0^2} r_0 \underbrace{\int_{-r_0}^{r_0} B_z^2 dz}_I$$

$$\Rightarrow -\frac{r_0}{OA'} + \frac{r_0}{OA} = -\frac{e^2}{4m^2 v_0^2} r_0 I$$

$$\Rightarrow -\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{e^2 I}{4m^2 v_0^2} = \frac{1}{f'}$$

$$\Rightarrow f' = \frac{4m^2 v_0^2}{e^2 I}$$

B.3.5) $m = c^{\frac{h}{v}}$; $e = c^{\frac{h}{\lambda}}$; V finie $\Rightarrow v_0$ finie

$\Rightarrow$ il faut agir sur I , donc sur B_z , donc sur i

$\Rightarrow$ il faut agir sur l'intensité du courant i dans la bobine.

PARTIE C : L'électronique au service du microscope

C-1- Générateur de balayage :

C-1-1) $i^+ = i^- = 0$ (résistance d'entrée infinie)

gain infini

C-1-2) L'ALI 2 n'a pas de boucle de rétroaction entre sa sortie et son entrée inverseuse $\ominus$
 $\Rightarrow$ il fonctionne en régime de saturation :

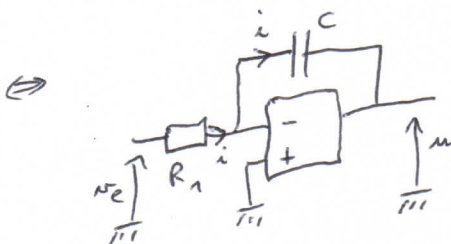
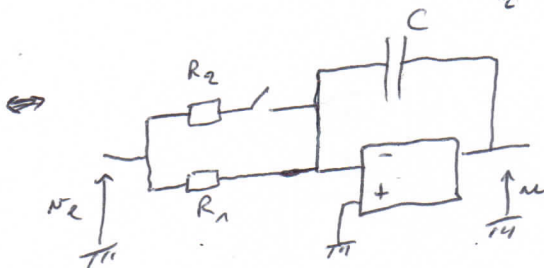
C-1-3) $-3V \leq u(t) \leq 3V$

or $V_{sat} = V_0 = 15V \Rightarrow |u(t)| < V_{sat}$

$\Rightarrow$ l'ALI 1 fonctionne en régime linéaire

(car $u(t)$ est la tension en sortie de l'ALI 1)

C-1-4) $N_2 = +V_0 = +15V > 0 \Rightarrow D_1$ est fermé
 D_2 est ouvert.



* ALI idéal $\Rightarrow i^- = 0 \Rightarrow i_{R_1} = i_C$
* régime linéaire $\Rightarrow V^- = V^+$ or $V^+ = 0 \Rightarrow V^- = 0$
* $i_{R_1} = \frac{N_2 - V^-}{R_1}$ $i_C = C \frac{d(V^- - u)}{dt}$

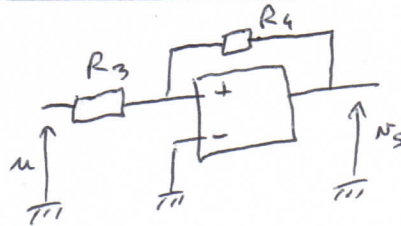
$\Rightarrow \frac{N_2}{R_1} = -C \frac{du}{dt} \Rightarrow \frac{du}{dt} = -\frac{1}{R_1 C} N_2$

or $N_2 = +V_0 \Rightarrow \frac{du}{dt} = -\frac{V_0}{R_1 C}$

$\Rightarrow u(t) = -\frac{V_0}{R_1 C} t + c$
 $u(t=0) = 0$

$\Rightarrow u(t) = -\frac{V_0}{R_1 C} t$

C-1-5)



ALI idéal $\Rightarrow i^+ = 0$

théorème de Millman : $V^+ = \frac{\frac{N_3}{R_3} + \frac{N_5}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$

$\Rightarrow V^+ = \frac{R_4 N_3 + R_3 N_5}{R_3 + R_4}$

Pour $0 < t < t_1$: $N_5 = N_2 = +V_0$
 $\uparrow$
relié par un fil

$\Rightarrow$ l'ALI 2 est en saturation haute

$\Rightarrow V^+ - V^- > 0$
 $N_5 = +V_0$

$\Rightarrow \frac{R_4 N_3 + R_3 V_0}{R_3 + R_4} > 0 \Rightarrow N_3 > -\frac{R_3 V_0}{R_4}$

$\Rightarrow -\frac{V_0}{R_1 C} t_1 = -\frac{R_3}{R_4} V_0$

$\Rightarrow t_1 = \frac{R_1 R_3}{R_4} C$

C-1-6) Pour l'ALI 1 : $V^+ = 0$ or régime linéaire

$\Rightarrow V^+ = V^- \Rightarrow V^- = 0$

la tension aux bornes du condensateur est donc $(u - V^-) = (u - 0) = u$.

Or on a continuité de la tension aux bornes d'un condensateur (continuité de l'énergie $\frac{1}{2} C u^2$)

$\Rightarrow u(t)$ ne peut pas subir de discontinuité

C-1-7) A $t=t_1$, $v_s = v_e$ passe de $+V_0$ à $-V_0$

$\Rightarrow v_e = -V_0 < 0 \Rightarrow D_1$ est ouvert
 D_2 est fermé

$\Rightarrow$ on remplace R_1 par R_2

...

$$\Rightarrow \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{R_2 C} v_e \quad \text{avec } v_e = -V_0$$

$$\Rightarrow \frac{dv}{dt} = \frac{V_0}{R_2 C} \Rightarrow v(t) = \frac{V_0}{R_2 C} t + c$$

$$\text{or à } t=t_1, v(t_1) = -\frac{R_3}{R_4} V_0$$

$$\Rightarrow v(t) = \frac{V_0}{R_2 C} (t - t_1) - \frac{R_3}{R_4} V_0$$

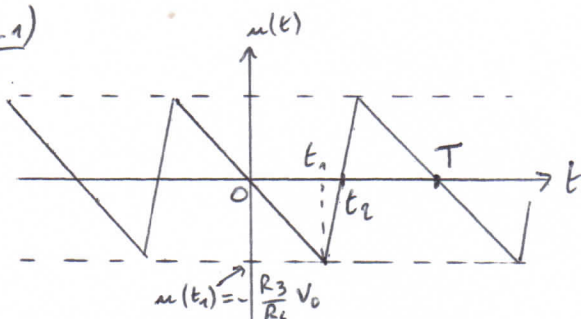
$$\text{or } t_1 = \frac{R_1 R_3 C}{R_4}$$

$$\Rightarrow v(t) = \frac{V_0}{R_2 C} t - \frac{R_3}{R_4} V_0 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$v(t_2) = 0 = \frac{V_0}{R_2 C} t_2 - \frac{R_3}{R_4} V_0 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{R_3}{R_4} (R_1 + R_2) C$$

C-1-8-1)



$$T = 2t_2 = 2 \frac{R_3}{R_4} (R_1 + R_2) C$$

C-1-8-2) * $v(t_1) = -\frac{R_3}{R_4} V_0 = -3V$
 $\uparrow$
 lecture graphique
 (3 carreaux / 1V/div)

$$\Rightarrow R_3 = \frac{3V}{V_0} R_4 = \frac{3}{15} \cdot 1 = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 0,2 \text{ k}\Omega$$

$$* t_2 - t_1 = \frac{R_3}{R_4} (R_1 + R_2) C - \frac{R_1 R_3}{R_4} C = \frac{R_2 R_3}{R_4} C$$

$$\approx 0,5 \text{ carreaux} \times 1 \text{ ms/div}$$

$$\approx 0,5 \text{ ms}$$

$$R_2 = \frac{(t_2 - t_1) R_4}{R_3 C} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \times 1}{0,2 \times 1 \cdot 10^{-6}} = 2,5 \cdot 10^3 \Omega = 2,5 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$* T = 2 \frac{R_3}{R_4} (R_1 + R_2) C \Rightarrow R_1 = \frac{T R_4}{2 R_3 C} - R_2$$

$$\text{or } T \approx 5 \text{ carreaux} \times 1 \text{ ms/div} = 5 \text{ ms}$$

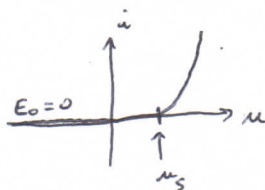
$$\Rightarrow R_1 = \frac{5 \cdot 10^{-3} \times 1}{2 \times 0,2 \times 1 \cdot 10^{-6}} - 2,5 \cdot 10^3$$

$$= 12,5 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^3 = 10 \cdot 10^3 \Omega = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_1 = 1 \cdot 10^4 \text{ k}\Omega$$

C-2. Le capteur CCD :

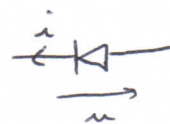
C-2-1)



$$u_s = 0,6V$$

par lecture graphique

C-2-2)



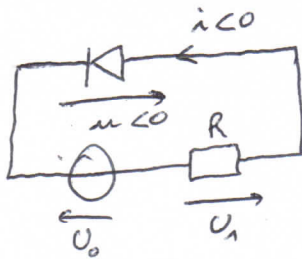
on est en convention récepteur

$\Rightarrow$ le composant se comporte comme un dipôle récepteur si u et i sont de même signe
 $\Rightarrow$ cadrans 1 et 2

Le composant se comporte comme un dipôle générateur si u et i sont de signes opposés.

$\Rightarrow$ cadran 3

C-2-3-1)



le générateur impose $i < 0$ et $u < 0$
 $\Rightarrow$ le point de fonctionnement se trouve
 dans le cadran 2 (dipôle récepteur).

C-2-3-2) * loi d'Ohm: $U_1 = -R i$ (convention
 générateur)

* Dans le cadran 2: $i = 0$ pour $E_0 = 0$

$$i = -0,01 \text{ mA pour } E_1 \approx 1000 \text{ lux}$$

$$i = -0,02 \text{ mA pour } E_2 \approx 2000 \text{ lux}$$

$$i = -0,03 \text{ mA pour } E_3 \approx 3000 \text{ lux}$$

$\Rightarrow i$ est proportionnel à E

$$i = -10^{-5} E = -10^{-8} E$$

$\uparrow$
mA/lux

$\uparrow$
A/lux

* $U_1 = -R i$ avec $R = 1 \text{ k}\Omega = 1 \cdot 10^3 \Omega$

$$= 10^3 \cdot 10^{-8} E = 10^{-5} E$$

$U_1 = k E$ avec $k = 10^{-5} \text{ V.lux}^{-1}$

C-2-4) ALI idéal $\Rightarrow i^+ = i^- = 0$

régime linéaire $\Rightarrow V^+ = V^-$

ou $V^+ = U_1 \Rightarrow V^- = U_1 = k E$

thm de Millman sur l'entrée $\ominus$ ($i^- = 0$):

$$V^- = \frac{\frac{0}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_2 = k E$$

$$\Rightarrow U_2 = k \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) E = K E$$

avec $K = k \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

Supposons que l'on veuille $K = 1 \text{ V.lux}^{-1}$

(l'énoncé n'a pas précisé d'unité!)

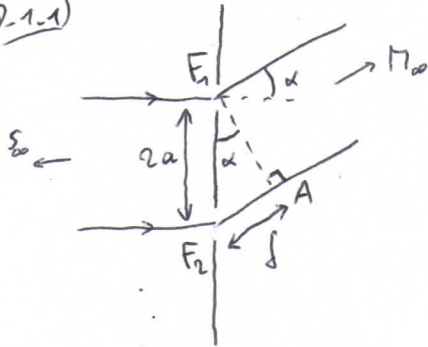
$$K = 10^{-5} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1$$

$$\text{si } \frac{R_2}{R_1} = 10^5 \Rightarrow R_2 = 10^5 R_1$$

PARTIE D : Mesure d'épaisseur par interférométrie

D-1- Système interférentiel à deux fentes :

D-1.1)



$(SF_1) = (SF_2)$ d'après le théorème de Talbot

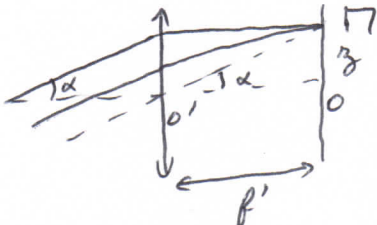
(après un nb quelconque de réflexions et de réfractions, les rayons lumineux issus d'une source ponctuelle S sont perpendiculaires aux surfaces d'onde).

$(F_1A) = (A\Gamma)$ d'après le principe de retour inverse de la lumière et le th de Talbot.

$$\Rightarrow \delta = (S\Gamma)_2 - (S\Gamma)_1 = (SF_2) + F_2A + (A\Gamma) - (SF_1) + (F_1\Gamma) = F_2A$$

Dans le triangle F_1AF_2 : $F_2A = 2a \sin \alpha$

$$\Rightarrow \delta = 2a \sin \alpha \approx 2a \alpha \quad \left(\begin{array}{l} \cos \alpha \approx 1 \\ \Rightarrow \alpha \ll 1 \end{array} \right)$$



Dans le triangle $O'O\Gamma$: $y = f' \tan \alpha \approx f' \alpha$

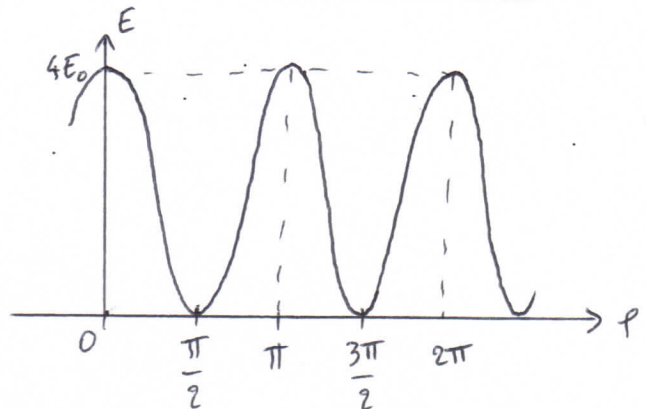
$$\Rightarrow \alpha = \frac{y}{f'} \Rightarrow \delta = \frac{2ay}{f'}$$

$$(2\varphi) = \frac{2\pi\delta}{\lambda} \Rightarrow \varphi = \frac{2\pi ay}{\lambda f'}$$

$$D-1.2) \quad \underline{\Delta} = \underline{\Delta}_1 + \underline{\Delta}_2 = \Delta_0 e^{j\varphi} + \Delta_0 e^{-j\varphi}$$

$$\begin{aligned} E = \underline{\Delta} \underline{\Delta}^* &= (\Delta_0 e^{j\varphi} + \Delta_0 e^{-j\varphi})(\Delta_0 e^{-j\varphi} + \Delta_0 e^{j\varphi}) \\ &= \Delta_0^2 + \Delta_0^2 + \Delta_0^2 e^{2j\varphi} + \Delta_0^2 e^{-2j\varphi} \\ &= 2E_0 + E_0 \underbrace{(e^{2j\varphi} + e^{-2j\varphi})}_{2\cos(2\varphi)} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{E = 2E_0 (1 + \cos(2\varphi))}$$



D-2- Système interférentiel à trois fentes :

$$D-2.1.1) \quad \underline{\Delta} = \Delta_0 e^{j\varphi} + \Delta_0 + \Delta_0 e^{-j\varphi}$$

$$E = \underline{\Delta} \underline{\Delta}^* = \Delta_0^2 (e^{j\varphi} + 1 + e^{-j\varphi})(e^{-j\varphi} + 1 + e^{j\varphi})$$

$$E = E_0 (1 + 1 + 1 + e^{j\varphi} + e^{2j\varphi} + e^{-j\varphi} + e^{j\varphi} + e^{-2j\varphi} + e^{-j\varphi})$$

$$E = E_0 \left(3 + 2 \underbrace{(e^{j\varphi} + e^{-j\varphi})}_{2\cos\varphi} + \underbrace{(e^{2j\varphi} + e^{-2j\varphi})}_{2\cos 2\varphi} \right) = 4\cos^2\varphi - 1$$

$$E = E_0 (1 + 4\cos\varphi + 4\cos^2\varphi)$$

$$\boxed{E = E_0 (1 + 2\cos\varphi)^2}$$

ou plus rapide (...!!) : $\underline{\Delta} = \Delta_0 e^{j\varphi} + \Delta_0 + \Delta_0 e^{-j\varphi}$

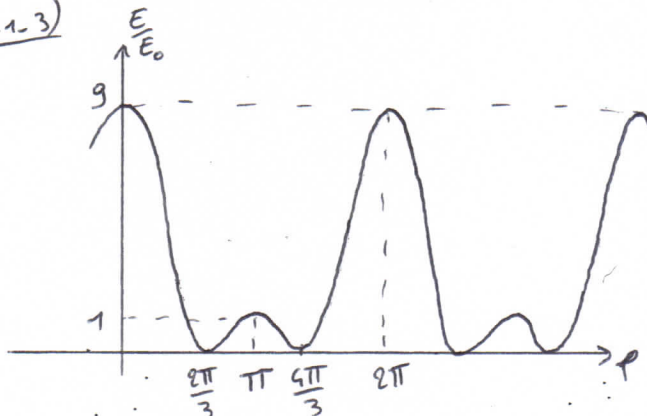
$$\Rightarrow \underline{\Delta} = \Delta_0 (1 + e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}) = \Delta_0 (1 + 2\cos\varphi)$$

$$E = \underline{\Delta} \underline{\Delta}^* \Rightarrow \boxed{E = E_0 (1 + 2\cos\varphi)^2} \quad \text{CQFD}$$

D-2.1.2) $\frac{E}{E_0} = (1 + 2\cos\varphi)^2$

φ en rad	0	$\frac{2\pi}{3}$	π	$\frac{4\pi}{3}$	2π
$\frac{E}{E_0}$	9	0	1	0	9

D-2.1.3)



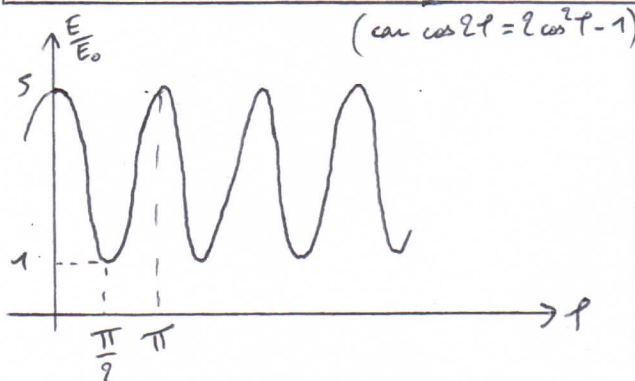
D-2.2.1) $\underline{d} = d_0 e^{j\varphi} + d_0 e^{-j\frac{\pi}{2}} + d_0 e^{-j\varphi}$

$\Rightarrow \underline{d} = d_0 (e^{-j\frac{\pi}{2}} + 2\cos\varphi)$

$E = \underline{d} \underline{d}^* = d_0^2 (e^{-j\frac{\pi}{2}} + 2\cos\varphi)(e^{j\frac{\pi}{2}} + 2\cos\varphi)$

$E = E_0 (1 + 2\cos\varphi (\underbrace{e^{-j\frac{\pi}{2}} + e^{j\frac{\pi}{2}}}_{2\cos\frac{\pi}{2}=0}) + 4\cos^2\varphi)$

$\Rightarrow E = E_0 (1 + 4\cos^2\varphi) = E_0 (3 + 2\cos 2\varphi)$



$\Rightarrow$ on retrouve une alternance régulière de franges brillantes et de franges sombres (pas noires car $E_{\min} = E_0 \neq 0$).

D-2.2.2) Un retard de phase de $\frac{\pi}{2}$ correspond à un retard de chemin optique d tel que $\frac{\pi}{2} = \frac{2\pi d}{\lambda}$

$\Rightarrow d = \frac{\lambda}{4}$

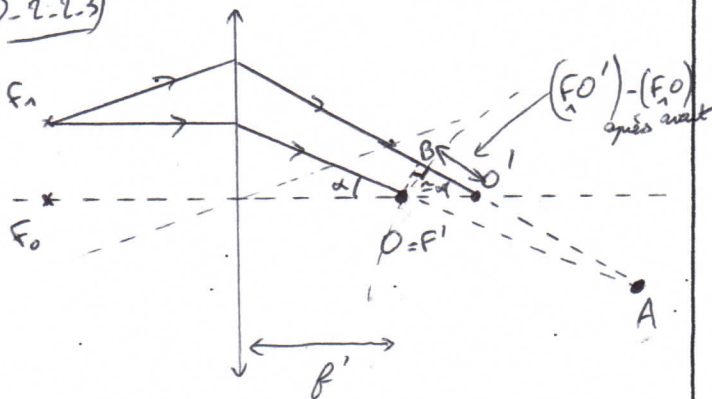
ou $d = (n-1)e$

↑
on a remplacé de l'air par du verre

$\Rightarrow (n-1)e = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{d = 4(n-1)e}$

$d = 4 \times (1,5-1) \times 0,3 \mu\text{m} \Rightarrow \boxed{d = 0,6 \mu\text{m}}$

D-2.2.3)



* En O, les rayons étaient en phase avant l'introduction de la lame $\Rightarrow (F_0 O) = (F_1 O)_{\text{avant}}$

* En O', les rayons sont à nouveau en phase $\Rightarrow (F_0 O')_{\text{après}} = (F_1 O')_{\text{après}}$

* $(F_0 O')_{\text{après}} = (F_1 O)_{\text{avant}} + (n-1)e + \overline{OO'}$
↑
on a remplacé de l'air par du verre

* $\Rightarrow (F_1 O')_{\text{après}} = (F_1 O)_{\text{avant}} + (n-1)e + \pi$

* F_1 et A sont conjugués par la lentille $\Rightarrow (F_1 A)$ indépendant du rayon.

$\Rightarrow (F_1 A) = (F_1 O)_{\text{avant}} + (OA)$
 $= \underbrace{(F_1 B)}_{(F_1 O')_{\text{après}}} + (BO') + (O'A)$ (avec $(AO) = (AB)$)

$\Rightarrow (F_1 O')_{\text{après}} - (F_1 O)_{\text{avant}} = (OA) - (O'A)$
 $= BO' = \pi \cos \alpha$
↑
triangle OBB'

$\Rightarrow (n-1)e + \pi = \pi \cos \alpha$

$\Rightarrow \boxed{\pi = \frac{(1-n)e}{1-\cos \alpha}}$

$$\Rightarrow e = (1 - \cos \alpha) \frac{\lambda}{1 - n}$$

$$\text{or } \cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2}$$

$$\Rightarrow e = \frac{\alpha^2 \lambda}{2(1 - n)} \quad \text{or } \alpha = \frac{a}{f'}$$

$$\Rightarrow \boxed{e = \frac{a^2 \lambda}{2 f'^2 (1 - n)}}$$

$$e = \frac{(0,1 \cdot 10^{-3})^2 \times (-1 \cdot 10^{-2})}{2 \times (10 \cdot 10^{-2})^2 (1 - 1,5)}$$

$$e = \frac{10^{-8} \cdot 10^{-2}}{10^{-2}} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \boxed{e = 0,01 \mu\text{m}}$$

D-2.3) $\left. \begin{array}{l} \text{prix Nobel en 1953} \\ \text{naissance en 1888} \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{65 \text{ ans !!}}$