

Problème 1

1) Si $\rho < a$ ou si $\rho > b$, $I_{enl.} = 0 \rightarrow B = 0$; Si $a < \rho < b$, $I_{enl.} = I \rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho} \vec{e}_\phi$ (TD magnétostatique)

$$2) \Phi = \int_a^b B(\rho) l d\rho = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \rightarrow L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) = 2 \cdot 10^{-7} H \text{ ou } 4,9 \cdot 10^{-8} H$$

3) Une distribution cylindrique de courant longitudinal crée un champ ortho radial. La force de Laplace élémentaire qui s'exerce sur les charges mobiles est **radiale centripète** ($\vec{j} \wedge \vec{B} d\tau = -j B d\tau \vec{e}_\rho$) : Striction !

La striction **concentre la matière sur l'axe (Oz) et produit le plasma**. La densité énergétique devient très grande, il se produit un rayonnement X électromagnétique ($f \sim 10^{17} Hz$).

Le confinement et l'augmentation de la température permet le phénomène de fusion nucléaire.

4) Il est nécessaire de pouvoir **stocker une grande quantité d'énergie et de la restituer très rapidement**.

$P = 10^{13} W \rightarrow$ Cela correspond à la puissance **d'une dizaine de milliers de réacteur**.

5) $\frac{di}{dt} + \frac{i}{\tau} = 0$ Avec $\tau = \frac{L}{r}$; $i(t) = I_0 e^{-t/\tau}$; La tangente à la courbe en $t = 0$ coupe l'axe du temps en τ .

Si $r \rightarrow 0$, l'intensité est quasi **constante**: $i = I_0 \rightarrow \Phi = LI_0 = cste \rightarrow e_i = 0$

6) $-\frac{d(Li)}{dt} = e_i = ri = 0 \rightarrow Li = cste$: Si $b \rightarrow a$, $L \searrow$. On retrouve l'idée de compression (pincement) mais le lien entre la Z machine et la modélisation coaxiale ne me paraît pas, à ce stade, évidente ...

Quoi qu'il en soit, le résultat $\Phi = Li = cste$ est la propriété essentielle du système et de ce problème !

7 & 8) Nous voyons deux inductances **en série**: $L_{\acute{e}q} = L_f + L \rightarrow L_{\acute{e}q0} = \frac{\mu_0 h}{2\pi} \ln\left(\frac{r}{r_b}\right) + \frac{\mu_0 H}{2\pi} \ln\left(\frac{R_0}{r_b}\right) = \frac{\Phi}{I_0}$

$$L_{\acute{e}qf} = \frac{\mu_0 h}{2\pi} \ln\left(\frac{r}{r_b}\right) = \frac{\Phi}{I_{max}} \rightarrow \frac{I_{max}}{I_0} = 1 + \frac{H \ln\left(\frac{R_0}{r_b}\right)}{h \ln\left(\frac{r}{r_b}\right)} \text{ On privilégie } H \gg h, R_0 \gg r_b \text{ et } r \sim r_b$$

$$\frac{I_{max}}{I_0} = 1,1 \cdot 10^2 \rightarrow I_{max} = 1,4 \cdot 10^8 A$$

9) $\mathcal{E} = \frac{1}{2} LI^2 \rightarrow \mathcal{E}_0 = \frac{1}{2} L_{\acute{e}q0} I_0^2$ et $\mathcal{E}_f = \frac{1}{2} L_{\acute{e}qf} I_{max}^2 \rightarrow \Delta\mathcal{E} = \left(\frac{I_{max}}{I_0} - 1\right) \mathcal{E}_0 = \left(\frac{L_{\acute{e}q0}}{L_{\acute{e}qf}} - 1\right) \mathcal{E}_0$

10) D'après la relation $\Delta\mathcal{E} = \left(\frac{I_{max}}{I_0} - 1\right) \mathcal{E}_0 = \Delta\mathcal{E}_{disp}$ donnée, $\frac{I_{max}}{I_0}$ sera grand si \mathcal{E}_0 est faible.

$\mathcal{E}_0 = \frac{1}{2} L_{\acute{e}q0} I_0^2 = \frac{1}{2} \Phi I_0 \rightarrow$ Il en résulte que I_0 doit être le plus faible possible (et $L_{\acute{e}q0} = \frac{\Phi}{I_0}$ grand !)

$$I_{0 \text{ opt}} = \sqrt{\frac{2\Delta\mathcal{E}_{disp}}{\alpha L_{\acute{e}q0}}} = \sqrt{\frac{2\Delta\mathcal{E}_{disp} L_{\acute{e}qf}}{L_{\acute{e}q0}^2 - L_{\acute{e}q0} L_{\acute{e}qf}}} = 0,75 MA$$

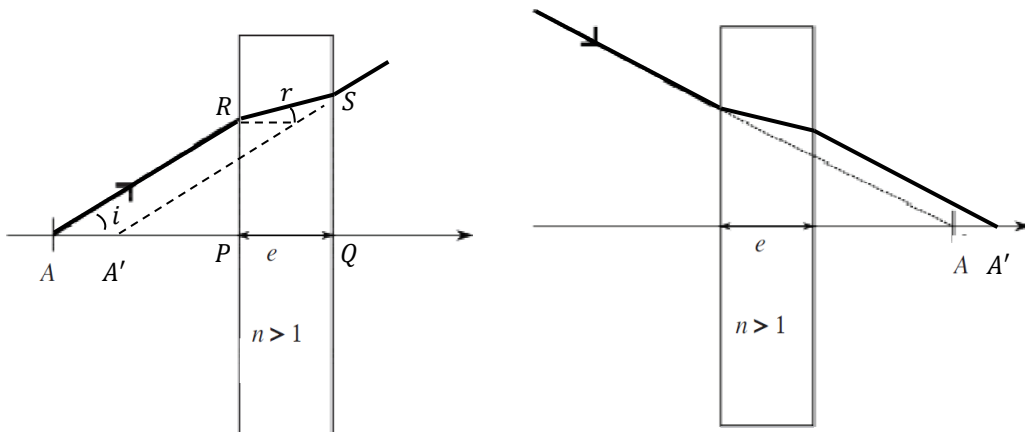
Problème 2

1) L'indice du verre vaut environ **1,5**.

2) Le rayon réfracté est dans le **plan d'incidence** (plan contenant la **normale** au dioptre et le **rayon incident**). De plus, on a la relation $n_i \sin i = n_r \sin r$.

3-5) $\overline{QS} = \overline{PR} + e \tan r \sim \overline{PR} + er$ (Voir figure) Or $\tan i = \frac{\overline{PR}}{\overline{AP}} = \frac{\overline{QS}}{\overline{A'Q}} \sim i$ Avec $i \sim nr$

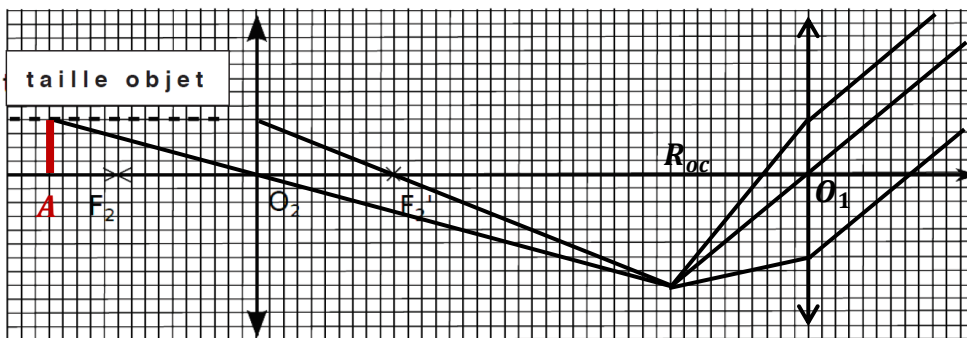
En définitive, $i \overline{A'Q} = i \overline{AP} + i \frac{e}{n} \Leftrightarrow \overline{A'A} + \overline{AP} + \overline{PQ} = \overline{AP} + \frac{e}{n} \Leftrightarrow \overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n}\right)$



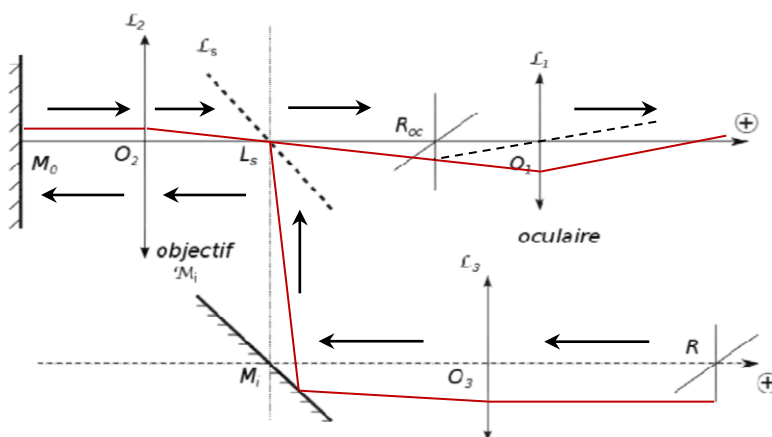
6) Le réticule est placé au **foyer objet de l'oculaire** pour qu'un œil "normal" observe sans accommodation une image à l'infini.

7 & 8) $\overline{F_2A} = \frac{f'_2}{\gamma_{ob}} = -25 \text{ mm}$ $\overline{F'_2A'} = -\gamma_{ob} f'_2$ Donc $\overline{O_2O_1} = (1 - \gamma_{ob})f'_2 + f'_1 = 200 \text{ mm}$

9 & 10) On peut ainsi observer une image **grossie** d'un objet situé à distance **finie**.



11.a)



Le tracé du rayon rouge s'inspire des réponses fournies à la question 11.b)

11.b) Un système afocal admet pour foyers **deux points à l'infini**.

Les foyers intermédiaires se confondent : F_3 correspond à F'_2 .

$$\overline{O_2L_s} + \overline{M_iL_s} + \overline{M_iO_3} = f'_2 + f'_3 \Leftrightarrow \overline{M_iO_3} = f'_2 + f'_3 - \overline{M_iL_s} - \overline{O_2L_s} = 50 \text{ mm}$$

On remarque donc que L_s est le foyer commun à \mathcal{L}_2 et \mathcal{L}_3 .

11.c) La relation de conjugaison de Newton s'écrit de façon générale $\overline{F'A'} \overline{FA} = -f'^2$

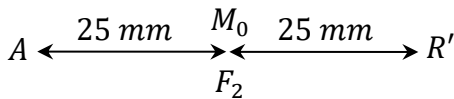
Si on appelle R_0 l'image intermédiaire donnée par l'ensemble $\{\mathcal{L}_3 \oplus \mathcal{M}_i \oplus \mathcal{L}_s\}$, on a $\overline{F'_3R} \overline{L_sR_0} = -f'^2_3$

Puis la conjugaison par \mathcal{L}_2 permet d'écrire $\overline{L_sR_0} \overline{F_2R'} = -f'^2_2$ D'où $\frac{\overline{F_2R'}}{\overline{F'_3R}} = \left(\frac{f'_2}{f'_3}\right)^2$

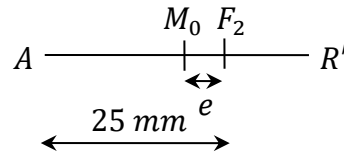
11.d & e) Si $O_3R = f'_3$, cela signifie que R' se situe en F_2 , avec un grandissement égal à $-\frac{1}{3}$

12.a) A ce niveau, il faut bien comprendre que l'image intermédiaire de R' donnée par le miroir \mathcal{M}_0 n'est rien d'autre que l'objet A défini précédemment.

Les points A et R' sont symétriques par rapport à $M_0 (= F_2)$. D'après 11.c) $d_0 = -\overline{F_2A} \left(\frac{f'_3}{f'_2}\right)^2$



Question a



Question b

12.b) A et R' sont symétriques par rapport à $M_0 (\neq F_2)$. D'après 11.c) $d_1 = \overline{F_2R'} \left(\frac{f'_3}{f'_2}\right)^2$

Or $\overline{F_2R'} = \overline{F_2M_0} + \overline{M_0R'} = -e + \overline{AF_2} - e = -\overline{F_2A} - 2e$ Donc $d_1 = d_0 - 2e \left(\frac{f'_3}{f'_2}\right)^2$

12.c) Le système étudié donne **deux images à l'infini de deux réticules distincts**.

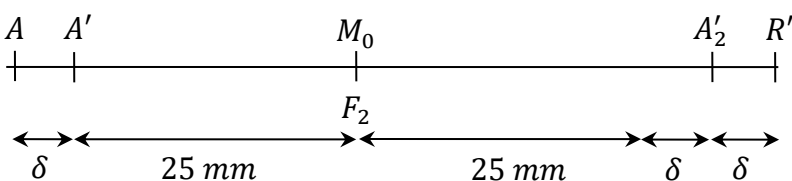
12.d) Le rapport des échelles est de $\frac{2}{3}$ car $R \xrightarrow{\gamma = -1/3} R' \xrightarrow{\gamma_{ob} = -2} R''$

13.a) On a toujours $A_2 = R'$. En l'absence de lame, on a $A_1 = A$. En sa présence, on a $A_1 = A'$ et plutôt

$$R_{oc} \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A' \xrightarrow{\text{Lame}} A \xrightarrow{\mathcal{M}_0} A'_2 \xrightarrow{\text{Lame}} A_2 = R' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_3 \xrightarrow{\mathcal{L}_s} A_4 \xrightarrow{\mathcal{M}_i} A_5 \xrightarrow{\mathcal{L}_3} R$$

13.b) Non car $\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \delta$ est indépendant de la position de la lame (Question 5)

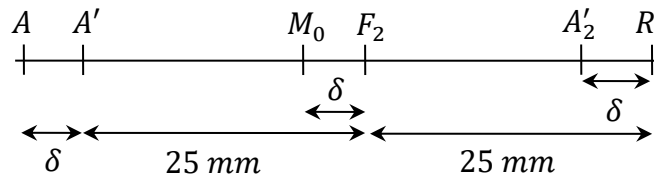
13.c-e) Toujours d'après 11.c) $d_2 = \overline{F_2R'} \left(\frac{f'_3}{f'_2}\right)^2 = \left(-\overline{F_2A'} + 2\delta\right) \left(\frac{f'_3}{f'_2}\right)^2 = d_0 + 2\delta \left(\frac{f'_3}{f'_2}\right)^2$



Nous obtenons $\delta = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ et sommes heureux de trouver $n = 1,5$!

D'après les questions 3 et 4, les décalages "AA'" s'effectuent dans le sens de propagation de la lumière.

14) Au lieu de déplacer le réticule R , éloignons le miroir \mathcal{M}_0 de l'objectif de la distance δ .

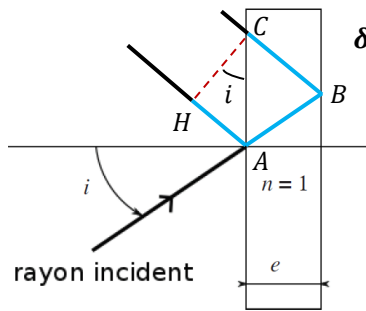


Nous remarquons alors que A' se retrouve là où était A sans la lame.

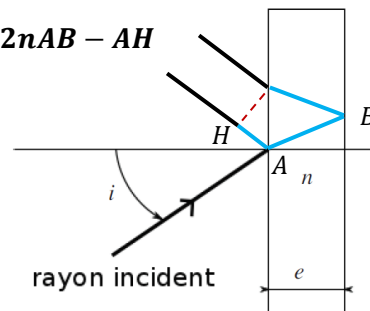
Il y a de nouveau conjugaison entre R et R_{oc} , l'image de R redevient nette.

La mesure du déplacement δ du miroir permet de trouver une nouvelle équation en e et n .

15.a & b)
$$\delta_{géo} = 2 \frac{e}{\cos i} - AC \sin i = \frac{2e}{\cos i} - 2e \tan i \sin i = 2e \cos i$$



Lame d'air en réflexion



Lame de verre en réflexion

15.c) Nous retrouvons pour $n = 1$ la différence de marche géométrique précédente à laquelle on ajoute $\frac{\lambda}{2}$ afin de tenir compte de la réflexion vitreuse en A (déphasage de π).

15.d) Les deux ondes sont cohérentes car issues de la même onde incidente monochromatique

(isochronisme et synchronisme) : $I = 2I_0 \left(1 + \cos \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right)$ On néglige les ondes réfléchies à partir de C .

Les interférences sont constructives si δ est un multiple de $\lambda \rightarrow m = \frac{\delta}{\lambda} \in \mathbb{N}$ (Ordre d'interférence entier)

16.a) Les franges sont circulaires car I ne dépend que de l'angle i : Franges d'égalles inclinaisons

16.b)
$$d\delta = -2e \sin \left(\frac{\pi}{4} + \alpha \right) \cos \left(\frac{\pi}{4} + \alpha \right) \left(n^2 - \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \alpha \right) \right)^{-\frac{1}{2}} d\alpha$$

Au voisinage de $\alpha = 0$, $d\delta = -e \left(n^2 - \frac{1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} d\alpha$ (*) L'ordre diminue lorsque α augmente

16.c & d) Si on note x la position sur l'écran correspondant à l'angle α ($x = f'\alpha$), l'interfrange moyen Δx correspond au rapport $\frac{x_m - x_{m+q}}{q}$, avec x_m et x_{m+q} les positions relatives aux ordres " m " et " $m + q$ ".

Puis on assimile Δx à dx et $\Delta\delta$ à $d\delta$. Or $dx = f'd\alpha$ et $\Delta\delta = -q\lambda$, ainsi (*) $\rightarrow \lambda = e \left(n^2 - \frac{1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{\Delta x}{f'}$

On remarque une erreur d'énoncé. Malheureusement, elle aura par la suite des conséquences ...

16.e) On évalue $\Delta x = 3,5 \text{ mm} \rightarrow e \left(n^2 - \frac{1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ (Avec correction de l'énoncé)

$$\rightarrow e \left(n^2 - \frac{1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} = 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$
 (Sans correction de l'énoncé)

17.a) Les longueurs d'onde éteintes vérifient la relation $2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = q\lambda$ ($q \in \mathbb{N}^*$)

On remarque, d'après la relation à démontrer, que λ_1 est la plus petite longueur d'onde éteinte et $p > 1$

Donc $2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = q_{max}\lambda_1 \rightarrow 2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = (q_{max} - (p - 1))\lambda_p = 2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{\lambda_p}{\lambda_1} - (p - 1)\lambda_p$

$$\rightarrow 2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_p}\right) = (p - 1)$$

17.b) D'après la relation précédente, $2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_{p+k}}\right) = k$

On choisit $\lambda_{p+13} = 653,2 \text{ nm}$ et $\lambda_p = 631,3 \text{ nm} \Rightarrow 2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

18) Si on fait le produit des deux relations reliant n et e (16.e & 17b), on obtient

$$2e^2 = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \Leftrightarrow e = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} \rightarrow n = 1,1 \quad (\text{Avec correction de l'énoncé})$$

$$2e^2 = 1,9 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \Leftrightarrow e = 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ m} \rightarrow n = 1,5 \quad (\text{Sans correction de l'énoncé})$$

De toute évidence, il y a un souci. Il semblerait que la figure F soit trop belle pour être vraie (on peut même remarquer du copié-collé). Peut-être que la courbe a-t-elle été tracée artificiellement par simulation afin de satisfaire à la fois la relation juste (17.b) et la relation fautive (16.e) ?

Ainsi, on peut proposer deux nouvelles figures E' & F' compatibles avec la relation 16.e corrigée

$$\left(e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{\lambda_{f'}}{\Delta x}\right)$$

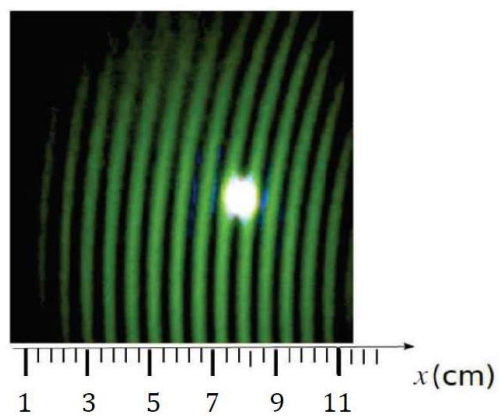


Figure E'

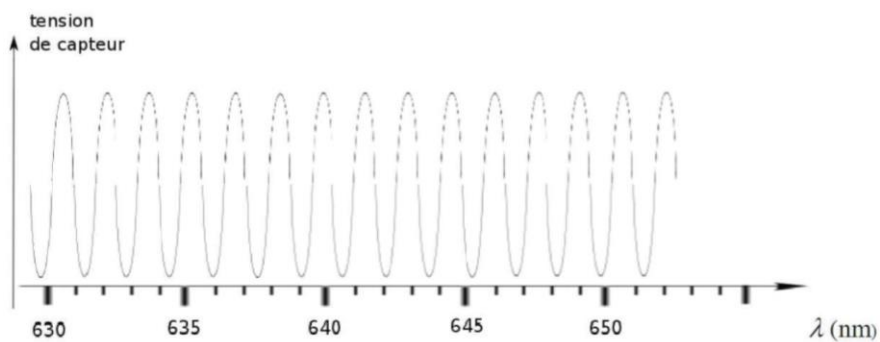


Figure F'

On obtient alors $\Delta x = 7,0 \text{ mm} \rightarrow e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} = 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ (Figure E')

Puis, on choisit $\lambda_{p+13} = 651,3 \text{ nm}$ et $\lambda_p = 631,3 \text{ nm} \Rightarrow 2e\left(n^2 - \frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ (Figure F')

Le produit des deux relations donne $2e^2 = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \Leftrightarrow e = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \rightarrow n = 1,5$ Ouf !