II La fibre optique à saut d'indice.

Une fibre optique est formée d'un cœur en verre d'indice n_1=1,66 entourée d'une gaine en verre d'indice n_2=1,52. On prendra $n_{air} = 1$.

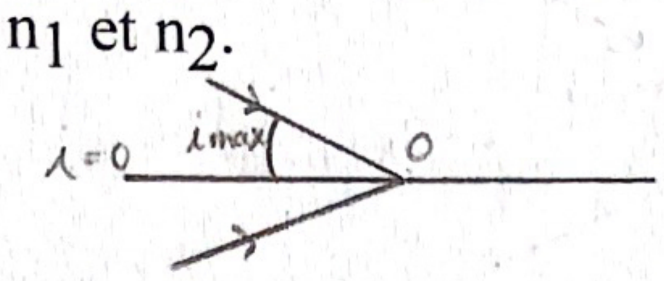
https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/dioptres/fibre_optique.php

1.) Cône d'acceptance :

Il correspond à l'ensemble des rayons qui seront transmis dans le cœur de la fibre.

On cherche la valeur maximale de l'angle d'incidence i_{max} pour laquelle la lumière est transmise le long de la fibre uniquement dans son cœur. L'exprimer en fonction de n_1 et n_2.

On définit l'ouverture numérique O.N. = $n_{air} \sin i_{max}$

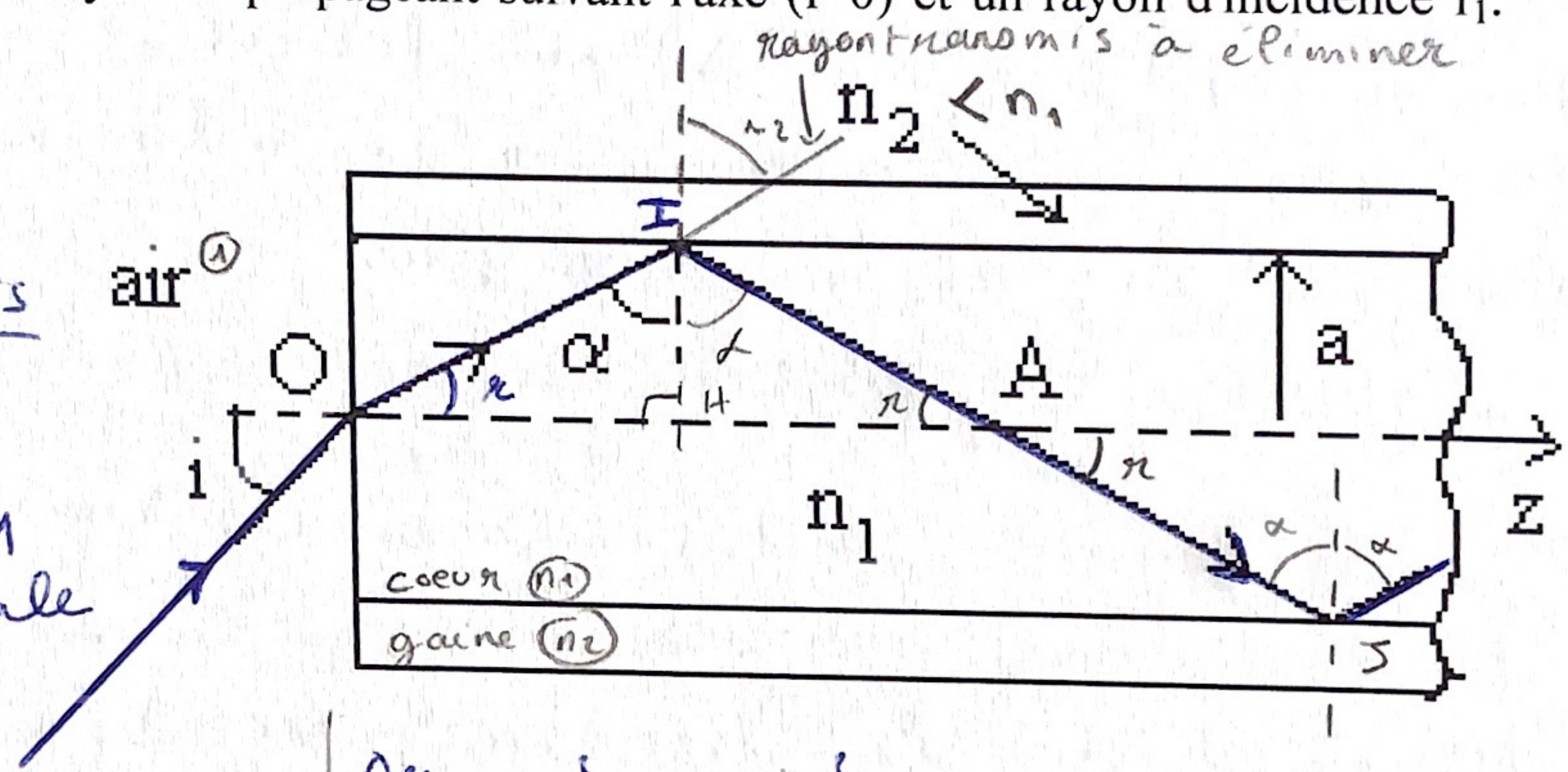


2.) Dispersion intermodale :

Une impulsion lumineuse arrive à t = 0 au point O sous la forme d'un faisceau conique convergent de demi angle au sommet $i_1 < i_{max}$.

Pour une fibre de longueur l, on calcule l'élargissement temporel Δt de cette impulsion à la sortie de la fibre, c'est-à-dire la différence de temps de parcours entre un rayon se propageant suivant l'axe (i=0) et un rayon d'incidence i_1. Exprimer Δt en fonction de l, n_1, c et i_1.

A.N. : l = 10 km. $i_1 = 8°$. $c = 3.10^8$ m.s^{-1}.



1) Condition pr que le RL soit transmis ds le cœur de la fibre

Pas de conditions en O : $1 \to n_1 > 1$ le RL se rapproche de la normale

On veut reflexion totale en I

Loi de Descartes : $n_1 \sin\alpha = n_2 \sin i_2$ ①

$\Rightarrow n_1 \sin\alpha_l = n_2 \sin\frac{\pi}{2}$

$\Rightarrow \boxed{\sin\alpha_l = \frac{n_2}{n_1}}$

D'après ①, si α ↗, i_2 ↗

Reflexion totale : si $\alpha > \alpha_l$

$\Rightarrow \sin\alpha > \sin\alpha_l$ car sin est ↗ sur $[0, \pi/2]$

$\Rightarrow \boxed{\sin\alpha > \frac{n_2}{n_1}}$ (1')

• Δ OIH : $\pi = r + \alpha + \frac{\pi}{2} \Rightarrow \boxed{r = \frac{\pi}{2} - \alpha}$

• Loi de Descartes en O : $\boxed{1 \times \sin i = n_1 \sin r}$ ②

$\Rightarrow \sin i = n_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$

$\Rightarrow \sin i = n_1 \cos\alpha$

$\Rightarrow \boxed{\cos\alpha = \frac{\sin i}{n_1}}$ ③

Or $\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1 \Rightarrow \cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha}$ ④

(1') $\sin\alpha > \frac{n_2}{n_1}$

$\Rightarrow \sin^2\alpha > \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \Rightarrow -\sin^2\alpha < -\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$

$\Rightarrow 1 - \sin^2\alpha < 1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \Rightarrow \sqrt{1 - \sin^2\alpha} < \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$

④ $\Rightarrow \cos\alpha < \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$

③ $\Rightarrow \frac{\sin i}{n_1} < \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \Rightarrow \sin i < n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$

$\Rightarrow \boxed{\sin i < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}$

AN : $i < \arcsin\left(\sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)$

$i < 41,58°$

$i < i_{max}$ où $i_{max} = 41,58°$

O.N. : $n_{air} \sin(i_{max}) = 0,67$ ($n_{air} = 1$)

2) dispersion intermodale

Pour $i=0$ temps de parcours t_0

$t_0 = \frac{l}{v}$ où $v = \frac{c}{n_1}$ ← vitesse de la lumière dans le vide

$\Rightarrow \boxed{t_0 = \frac{n_1 l}{c}}$

Pour i_1 temps de parcours t_1

$\boxed{t_1 = \frac{l_1}{v} = \frac{n_1 l_1}{c}}$ ⓐ

où $l_1 = OI + IA + AS + SB + \dots$
(voir shema fibre optique)

$\cos r_1 = \frac{OH}{OI} \Rightarrow OI = \frac{OH}{\cos r_1}$

$\cos r_1 = \frac{HA}{IA} \Rightarrow IA = \frac{HA}{\cos r_1}$

$\Rightarrow l_1 = \frac{1}{\cos r_1}(OH + HA + \dots)$

l : longueur de la fibre

$\Rightarrow l_1 = \frac{l}{\cos r_1}$

ⓐ $\Rightarrow \boxed{t_1 = \frac{n_1 l}{c \cos r_1}}$

Elargissement temporel

$\Delta t = t_1 - t_0$

$\boxed{\Delta t = \frac{n_1 l}{c}\left(\frac{1}{\cos r_1} - 1\right)}$ ①

Or $\cos^2 r_1 + \sin^2 r_1 = 1$

$\Rightarrow \cos r_1 = \sqrt{1 - \sin^2 r_1}$ ②

Loi de Descartes en O

$\sin i_1 = n_1 \sin r_1$

$\Rightarrow \boxed{\sin r_1 = \frac{\sin i_1}{n_1}}$

② $\Rightarrow \cos r_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{\sin i_1}{n_1}\right)^2}$

① $\Rightarrow \boxed{\Delta t = \frac{n_1 l}{c}\left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin i_1}{n_1}\right)^2}} - 1\right)}$

AN : $\Delta t = 1{,}95 \times 10^{-7}$ s

temps qu'il faut attendre avant d'envoyer une 2e info

$\frac{1}{\Delta t}$ ← fréquence d'information. $f = \frac{1}{\Delta t}$

$\frac{1}{\Delta t} = 5{,}1 \times 10^{6}$ info/s

$\Rightarrow$ très faible pour les besoins actuels

On utilise des fibres à gradient d'indice

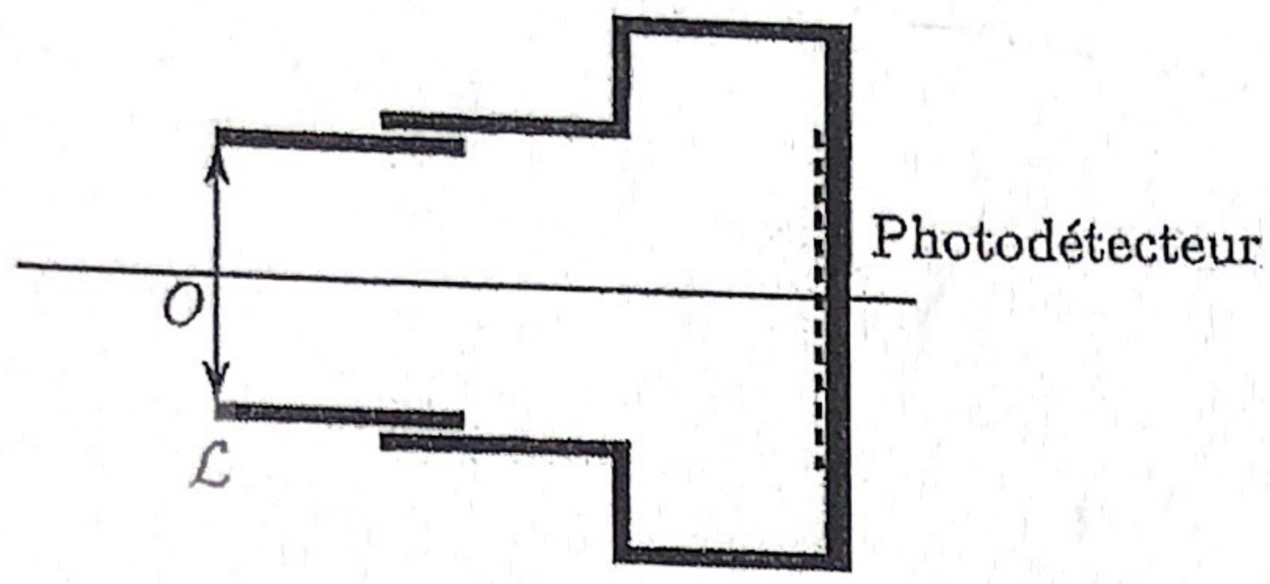
L'indice du cœur n'est pas constant

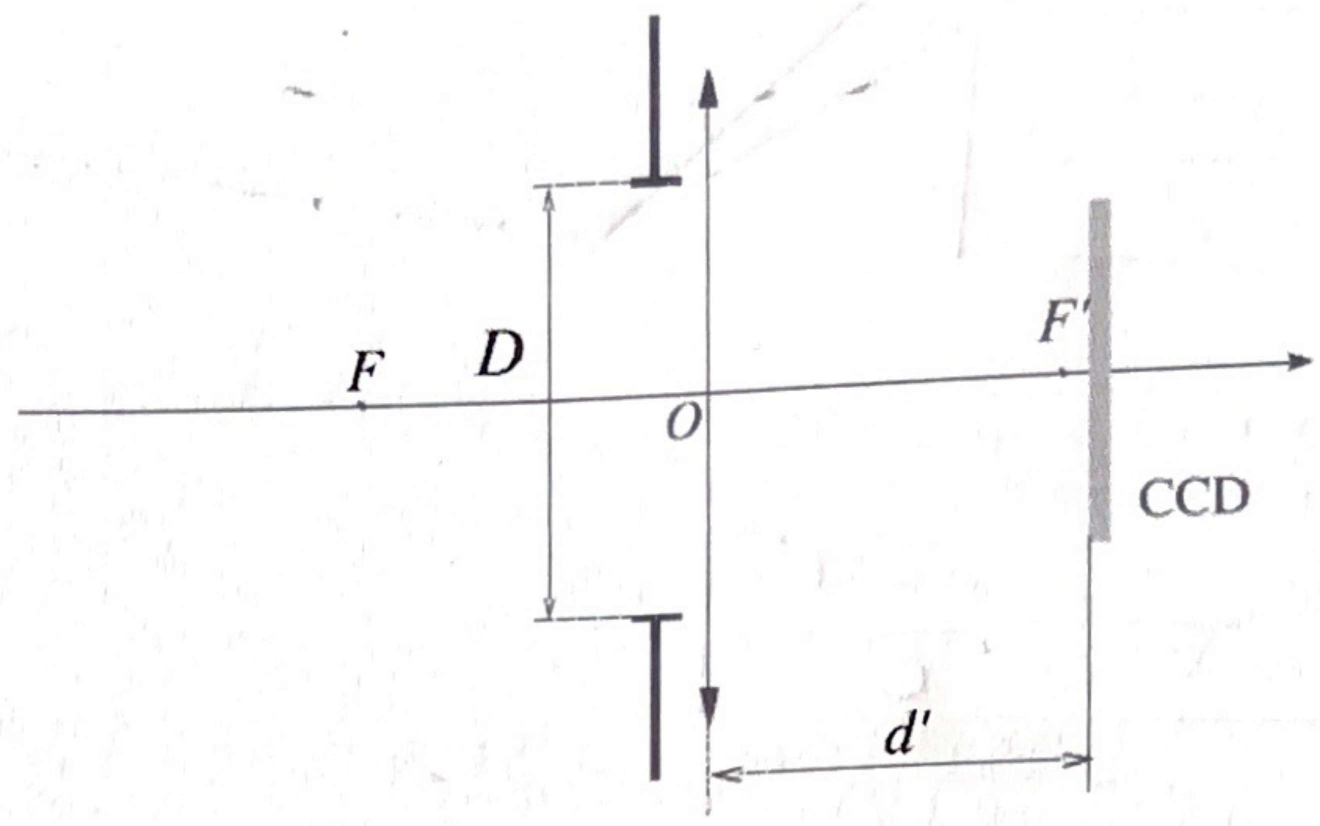
$\Rightarrow$ Les rayons lumineux ne se propagent pas en ligne droite

III L'appareil photographique

1.) Principe

On modélise l'objectif de l'appareil photo par une lentille unique, convergente de distance focale image f '.





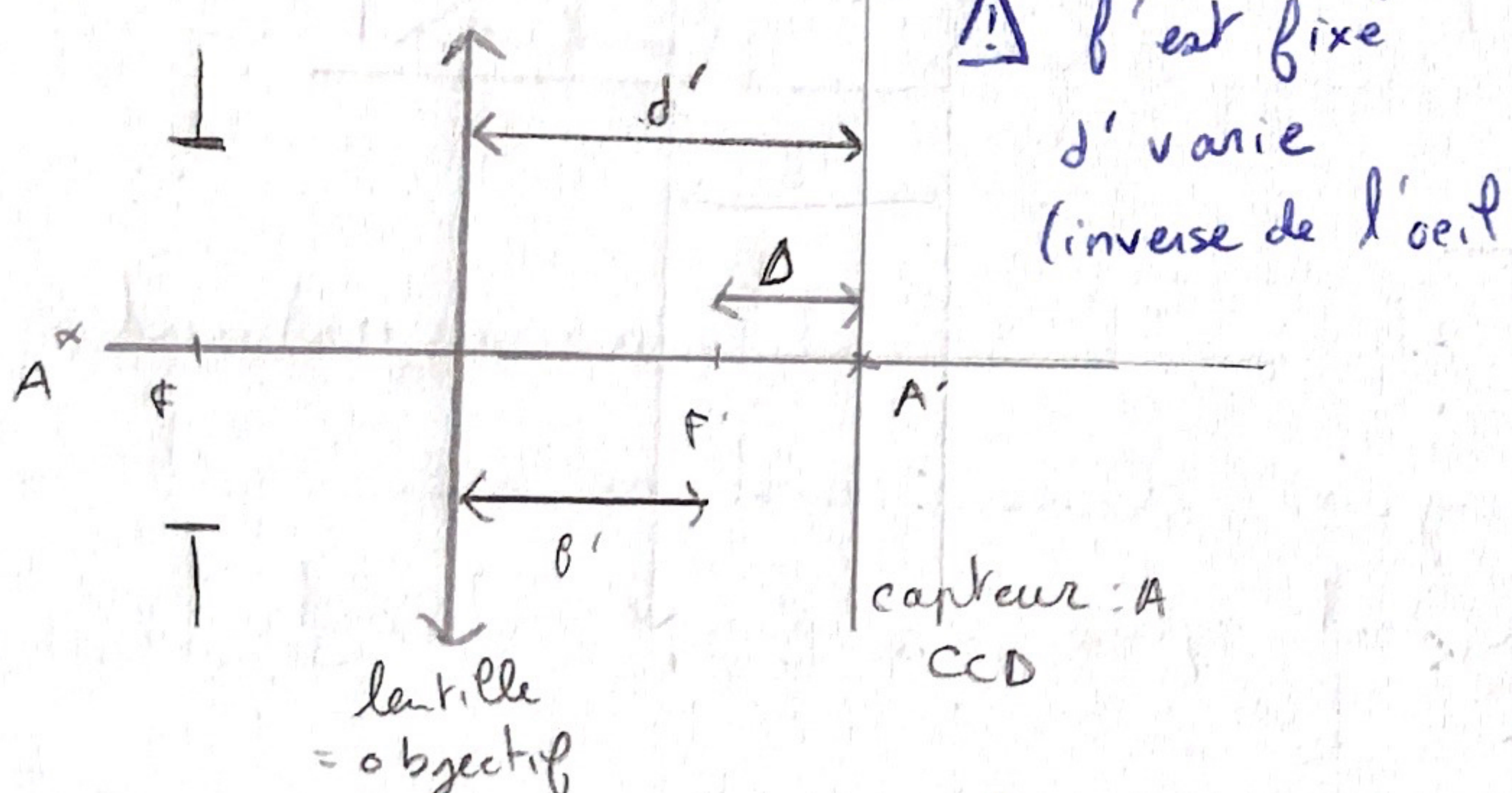
Modélisation de l'appareil photographique

La quantité de lumière entrant dans l'appareil est limitée par un diaphragme qui constitue une ouverture quasi-circulaire de diamètre D. L'ouverture de ce diaphragme s'effectue pendant une durée τ appelée durée de l'exposition ou temps de pose. On définit aussi le nombre d'ouverture $N = \frac{f'}{D}$.

L'image est enregistrée à l'aide d'une plaque de capteur CCD qui transforme le signal lumineux reçu en signal électrique.
Le réglage de mise au point permet que l'image de l'objet photographié se forme sur la plaque CCD. Pour cela, on ajuste la distance d' entre l'objectif et la plaque CCD.

L'appareil est capable de faire la mise au point sur un paysage (à l'infini) et l'amplitude de déplacement du capteur CCD par rapport à la lentille L est de Δ = 5mm.
au foyer image de la lentille

On prend f ' = 5cm. Quel est l'objet A le plus proche que peut prendre l'appareil en photo ? Déterminer $d = \overline{AO}$ en fonction de Δ et de f '. Faire l'application numérique. Faire les deux constructions géométriques page suivante.



⚠ f' est fixe
d' varie
(inverse de l'oeil)

$\overline{OA} = \overline{OF} + \overline{FA}$
$= -5 - 50$
$\boxed{\overline{OA} = -55 \text{ cm}}$

objet le + proche que l'on peut photographier

dessin au dos

Pour 1 objet à l'∞ sur l'axe
$A_\infty \xrightarrow{(L)} F'$ $\quad \overline{OF'} = f'$ donc $\boxed{d_{min} = f'}$

Pour un objet à distance d sur l'axe
$A \xrightarrow{(L)} A'$ $\quad d'_{max} = f' + \Delta$

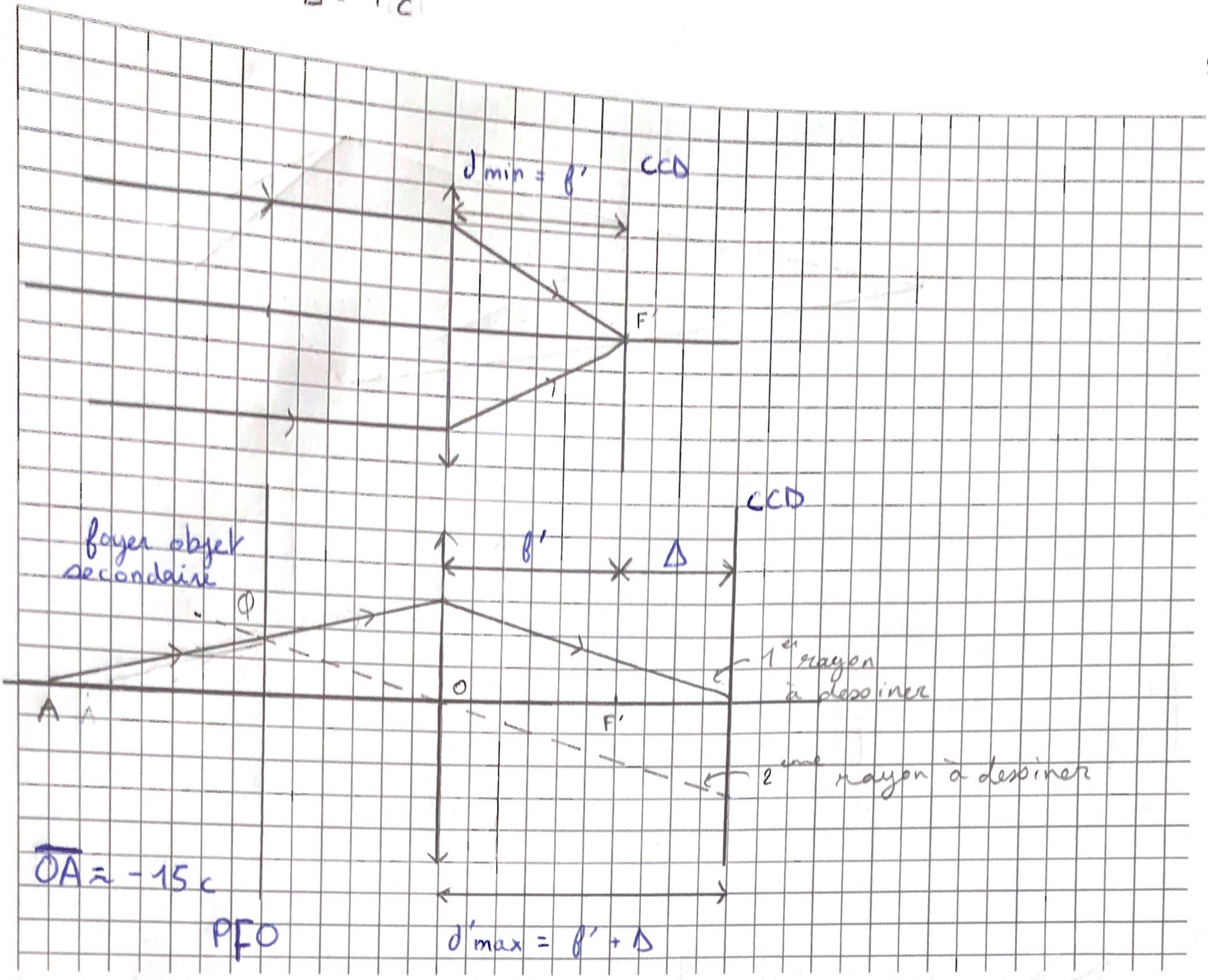
Newton : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$

$\Rightarrow \overline{FA} = \frac{-f'^2}{\overline{F'A'}} = \frac{-f'^2}{\Delta}$

AN : $\overline{FA} = \frac{-5^2}{0,5}$

$\boxed{\overline{FA} = -50 \text{ cm}}$

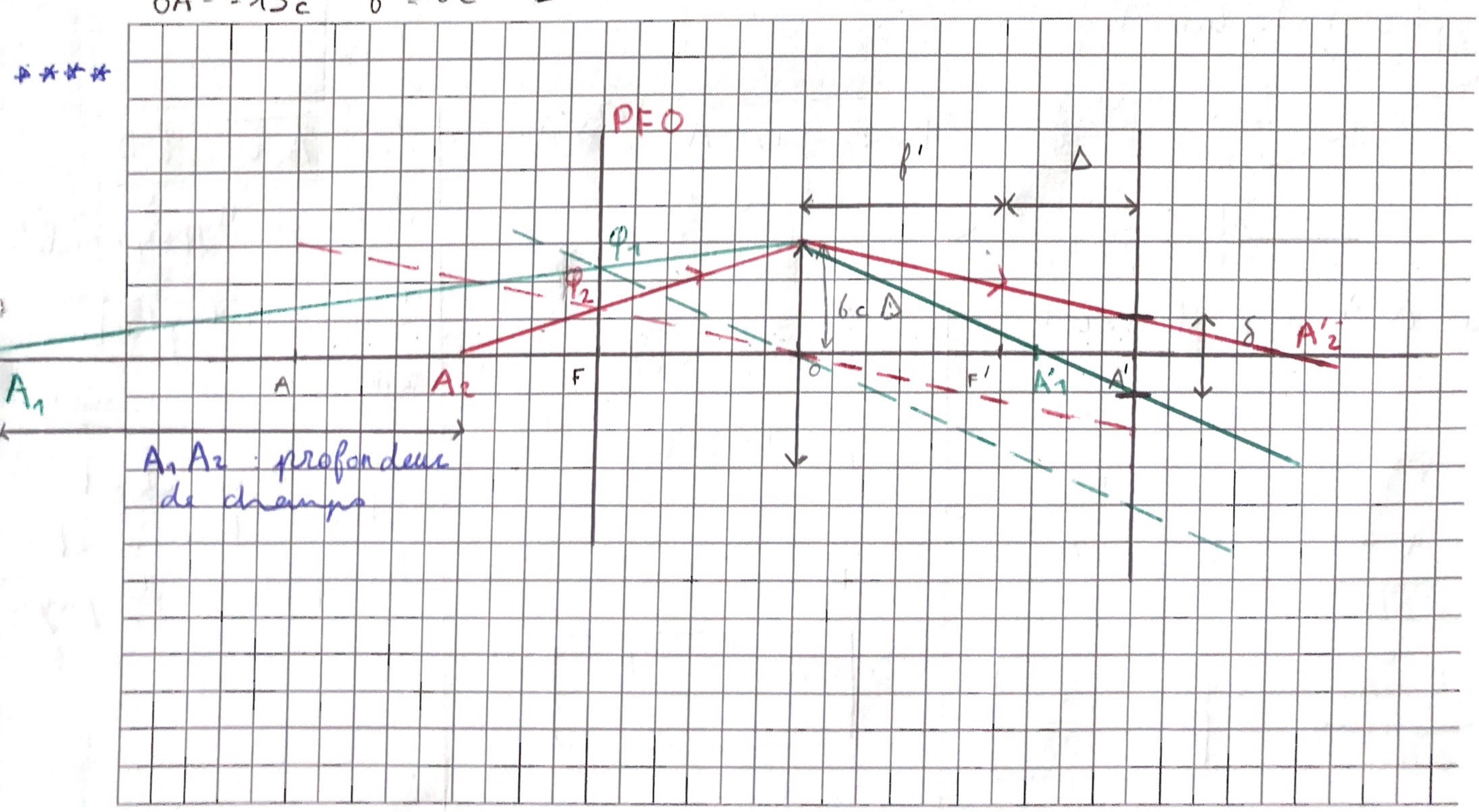
$\delta = 6c$ $\Delta = 4c$



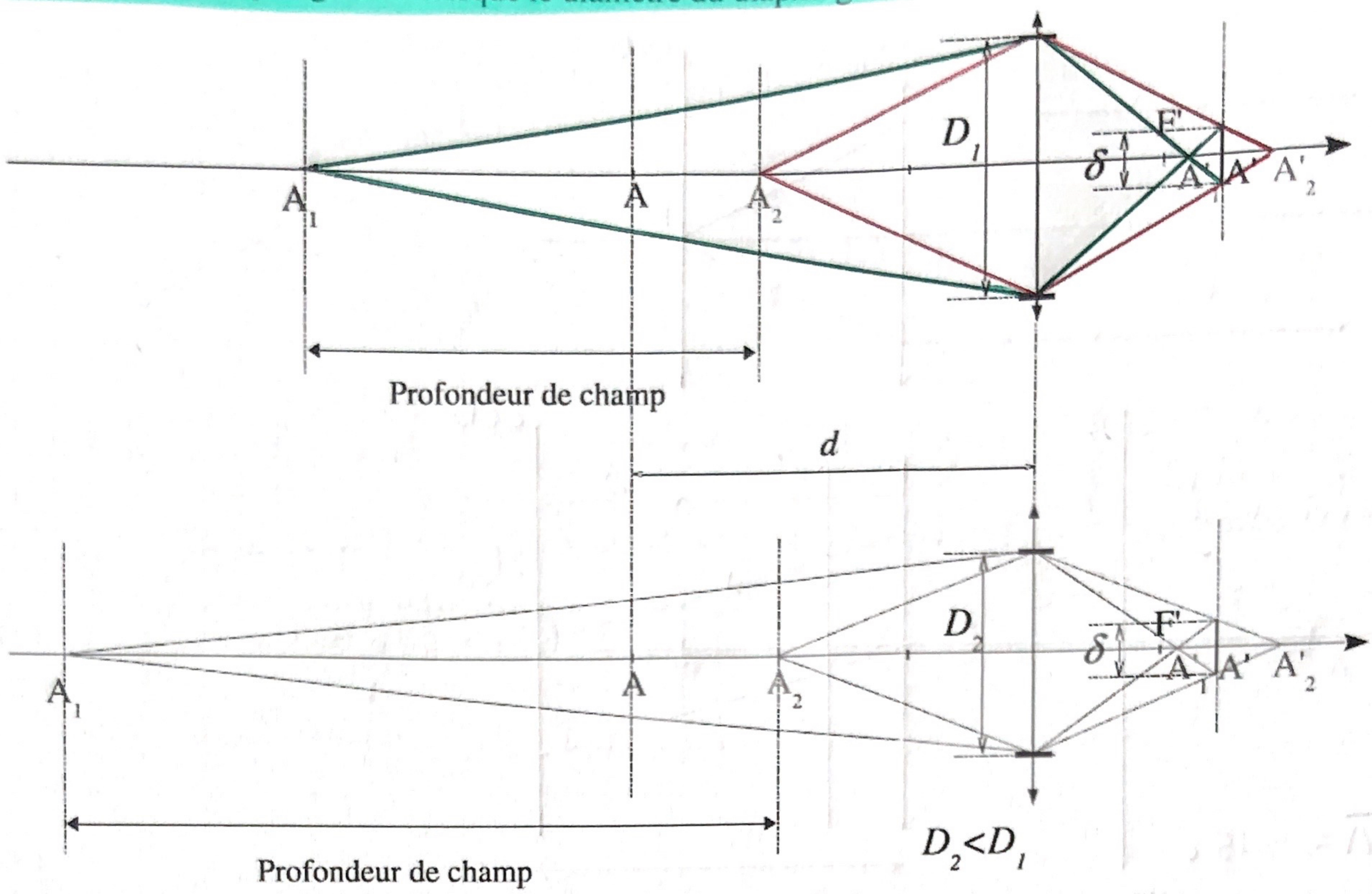
2.) Profondeur de champ

La profondeur de champ désigne la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver l'objet à photographier pour que l'on puisse en obtenir une image nette. Pour qu'une image soit nette, il faut que l'image de tout point de l'objet photographié donne une tâche sur l'écran de dimension inférieure à la taille du pixel δ.

$\overline{OA} = -15c$ $f' = 6c$ $\Delta = \overline{F'A'} = 4c$ $D/2 = 6c$ $\delta = 2c$

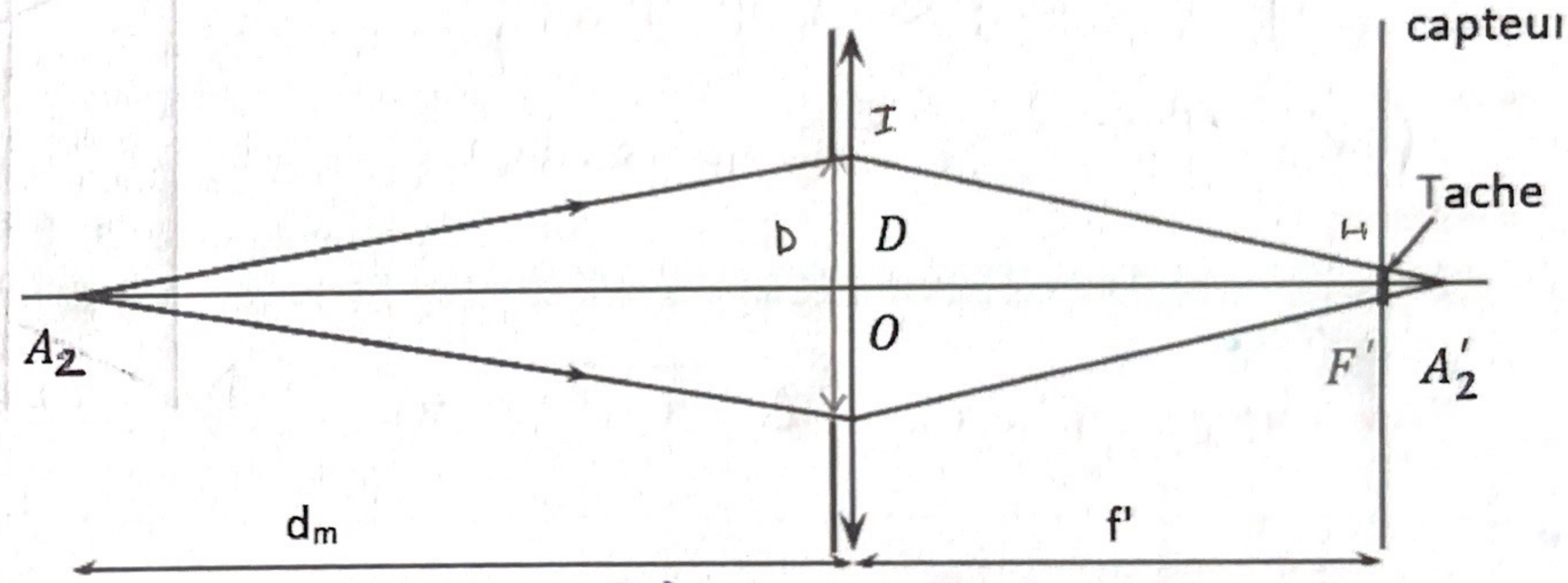


La profondeur de champ augmente lorsque le diamètre du diaphragme diminue.



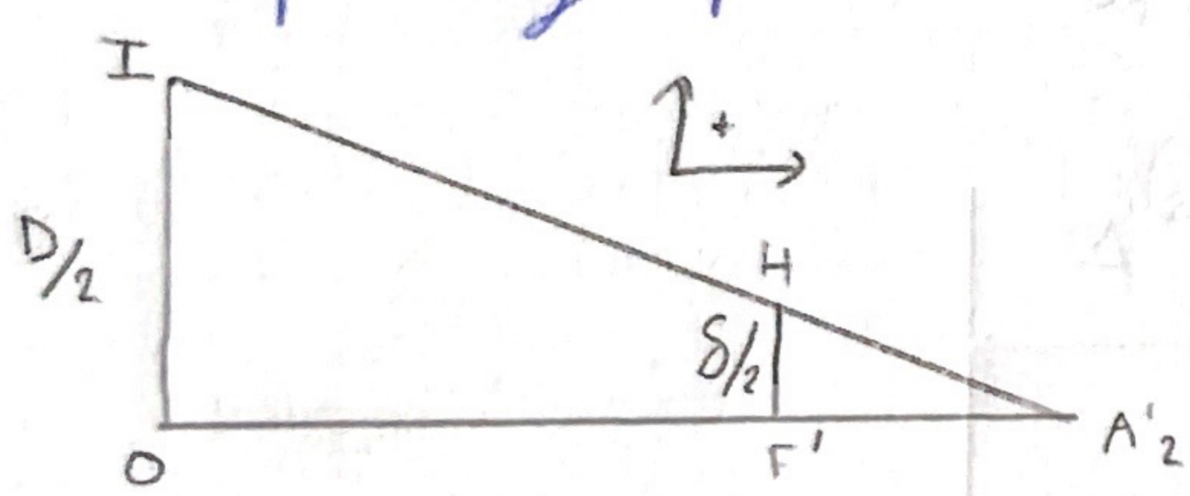
$D_2 < D_1$

Pour une mise au point à l'infini



sur l'axe : $A_\infty \xrightarrow{(L)} F'$

On cherche, pour ce réglage, le pt le plus proche qui puisse être photographié en A_2



Thales Δ $A'_2F'H$ et A'_2OI

$$\frac{\overline{OI}}{\overline{F'H}} = \frac{\overline{OA'_2}}{\overline{F'A'_2}} \Rightarrow \frac{D/2}{\delta/2} = \frac{\overline{OA'_2}}{\overline{F'A'_2}}$$

$$\Rightarrow \frac{\delta}{D} = \frac{\overline{F'A'_2}}{\overline{OA'_2}} = \frac{\overline{F'O}+\overline{OA'_2}}{\overline{OA'_2}}$$

$$= \frac{-f'+\overline{OA'_2}}{\overline{OA'_2}} \Rightarrow \boxed{\frac{\delta}{D} = 1-\frac{f'}{\overline{OA'_2}}} \quad (1)$$

Descartes $A_2 \xrightarrow{(L)} A'_2$

$$\frac{1}{\overline{OA'_2}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{f'}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'_2}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA_2}}$$

(1) $$\Rightarrow \frac{\delta}{D} = 1 - f'\left(\frac{1}{\overline{OA_2}} + \frac{1}{f'}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{\delta}{D} = \cancel{1} - \frac{f'}{\overline{OA_2}} - \cancel{1}$$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{OA_2} = \frac{-f'D}{\delta}}$$ ****

$d_m = \overline{A_2O} = \frac{f'D}{\delta}$

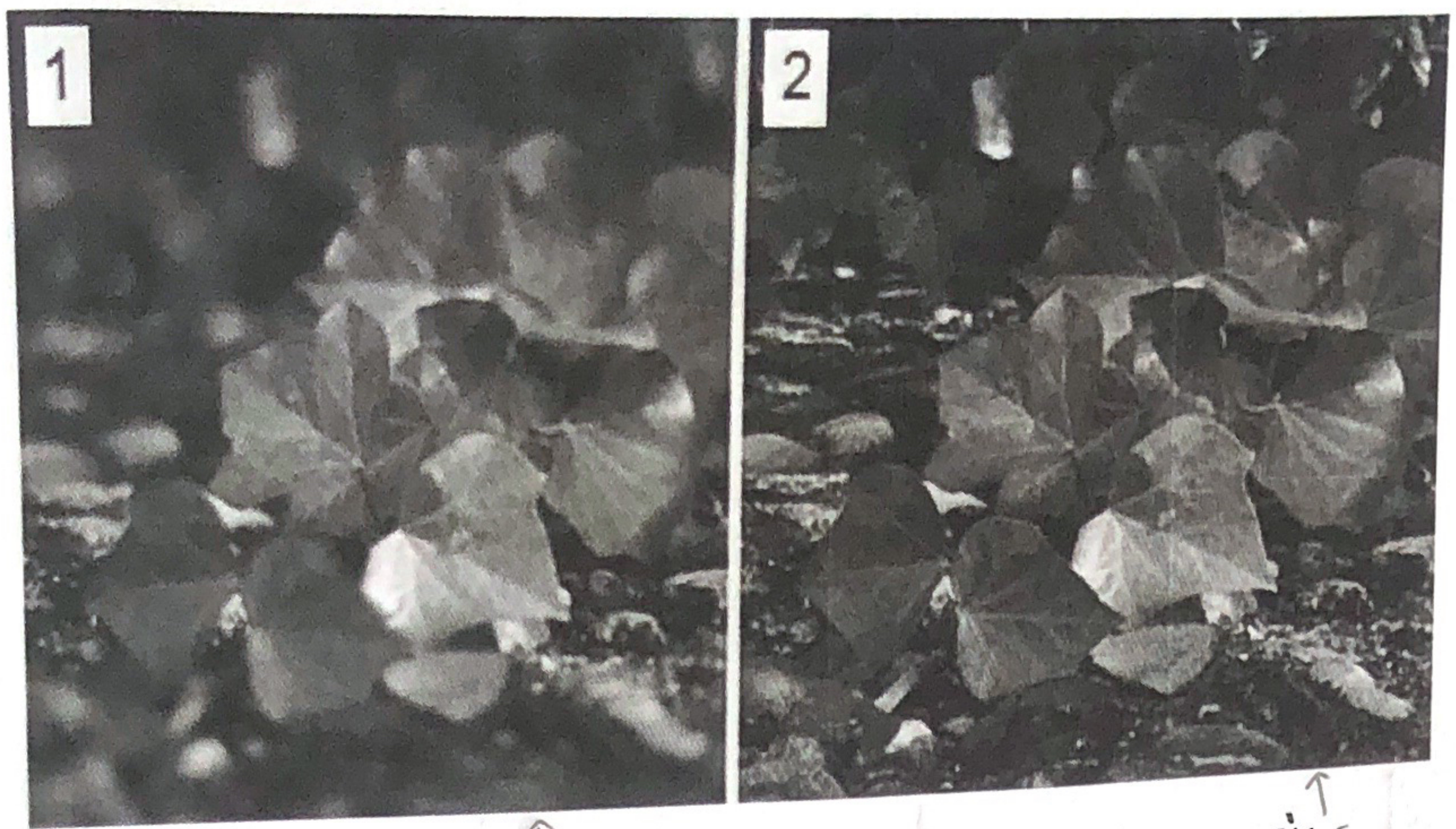
distance Hyperfocale ****

L'appareil photo ~~borne~~ l'image nette d'un objet situé entre ∞ et d_m (photo de paysage)

Remarque : Pour une mise au point à la distance d, la profondeur de champ s'écrit :

$$A_1A_2 = 2\delta d^2 \frac{N}{f'^2} = 2\delta d^2 \frac{1}{f'D}$$

à écrire



f/16

Ouverture D=f '/N: f/2,8

La profondeur de champ A_1A_2 est plus grande sur la photo 2 / photo 1

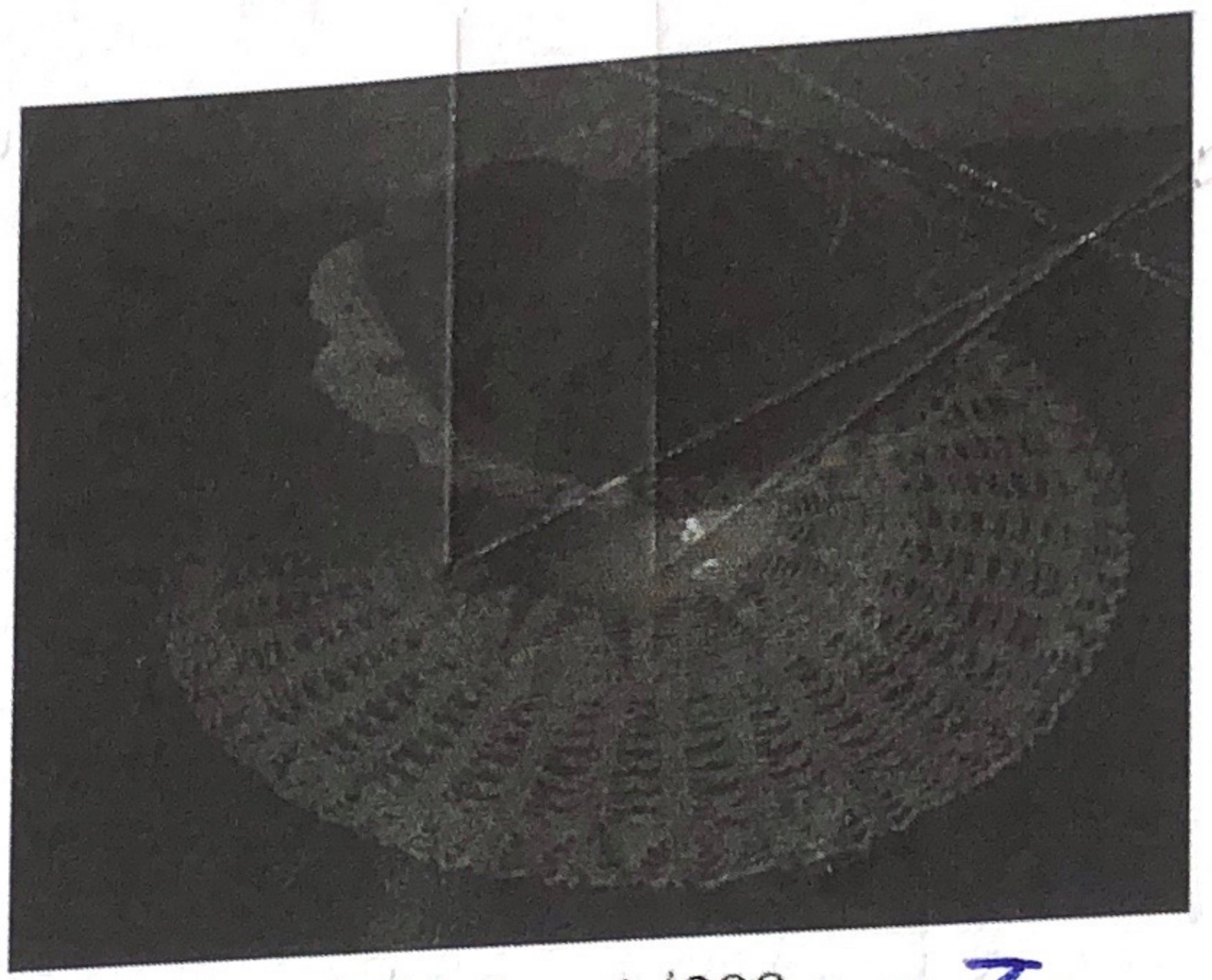
$D_1 = \frac{f'}{2,8}$ | $D_2 = \frac{f'}{16}$

$N_1 = 2,8$ | $N_2 = 16$

$D_2 < D_1$ paramètre de l'ouverture → profondeur du champ ⊕ grande pour D petit

3.) Divers paramètres

D = F'/2.8 1/30 s = τ_1

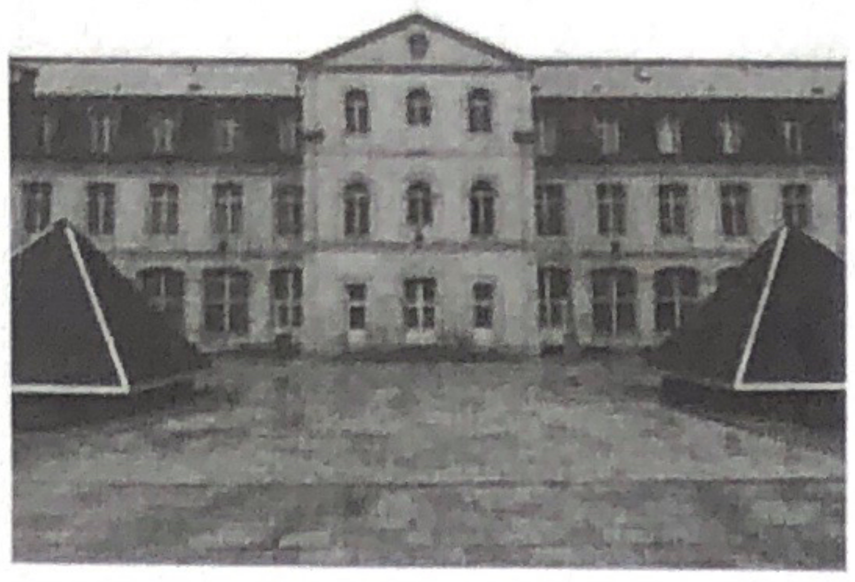


D = F'/2.8 1/200 s = τ_2

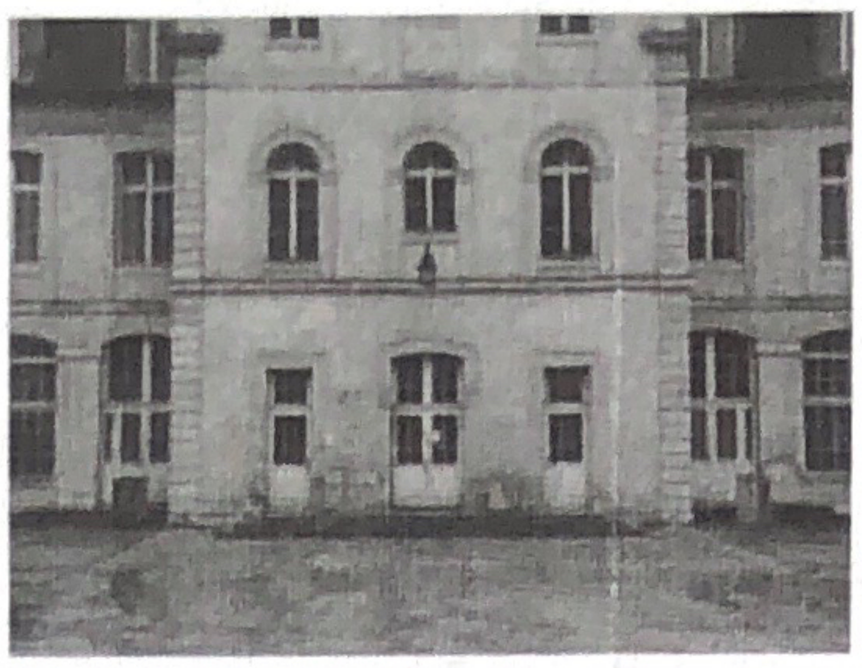
τ : "temps de pose" : temps et ouverture du diaphragme

$\tau_1 > \tau_2$ la photo est ss exposée (manque de lumière)

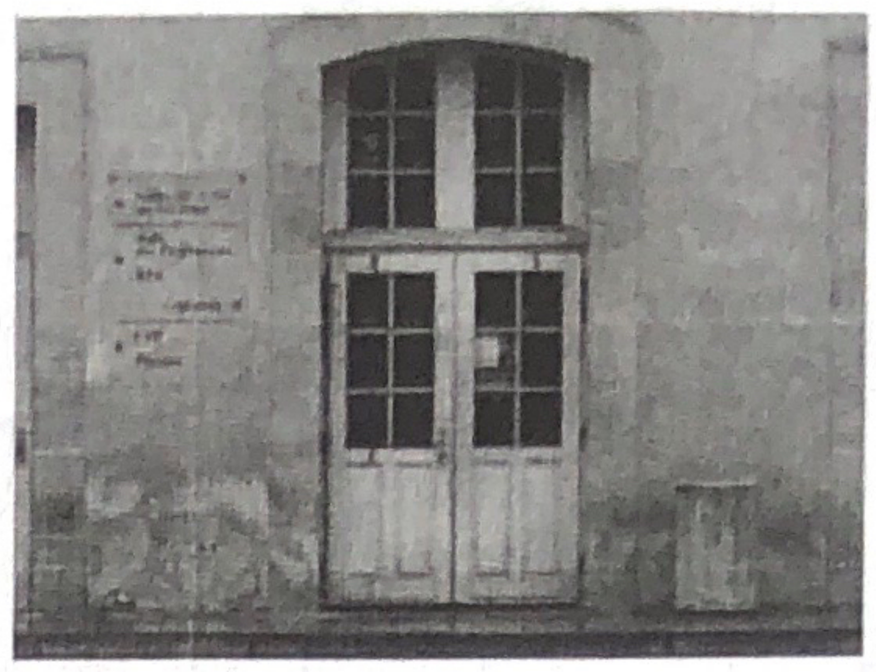
ex1 quand on divise par 2 la surface du diaphragme, il faut multiplier le temps de pose par 2



$f'_{obj} = 4,8$ mm
1/200 s F5.6

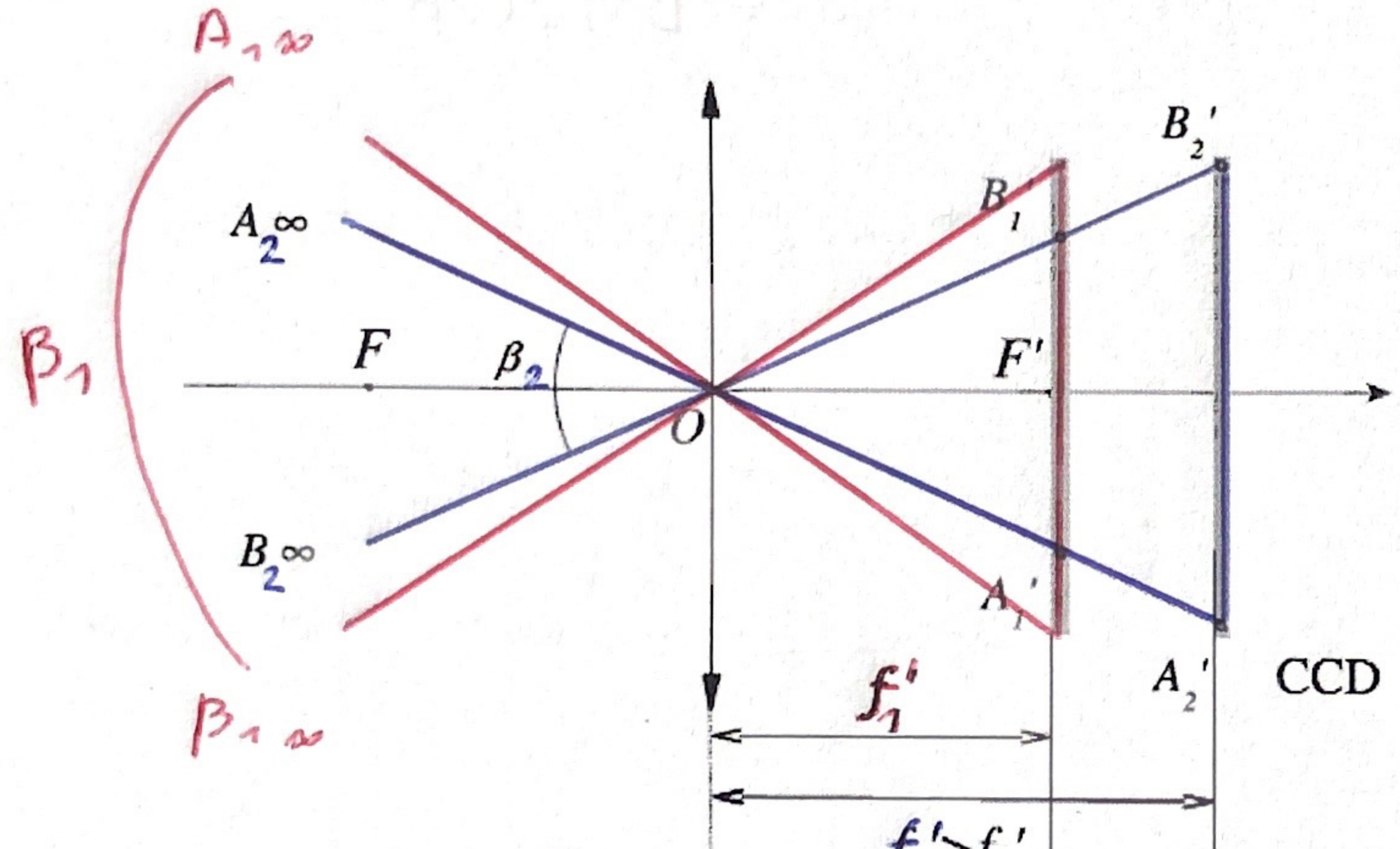


$f'_{obj} = 11,1$ mm
1/200 s F5.0



$f'_{obj} = 38,8$ mm
1/200 s F5.0

⊕ f' est grande, plus l'image est agrandie (= zoomée) plus le champ angulaire diminue (on voit une plus petite portion d'espace)



pour $f'_2 > f'_1$, $\beta_2 < \beta_1$
(champ angulaire ↘)