

cours 2

Au choix...



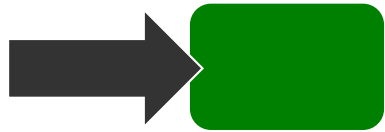
un objectif de microscope a besoin d'ouverture
et un objectif photo a besoin de champ



un objectif de microscope a besoin de champ
et un objectif photo a besoin d'ouverture



Au choix...



un objectif de microscope a besoin d'ouverture
et un objectif photo a besoin de champ



un objectif de microscope a besoin de champ
et un objectif photo a besoin d'ouverture



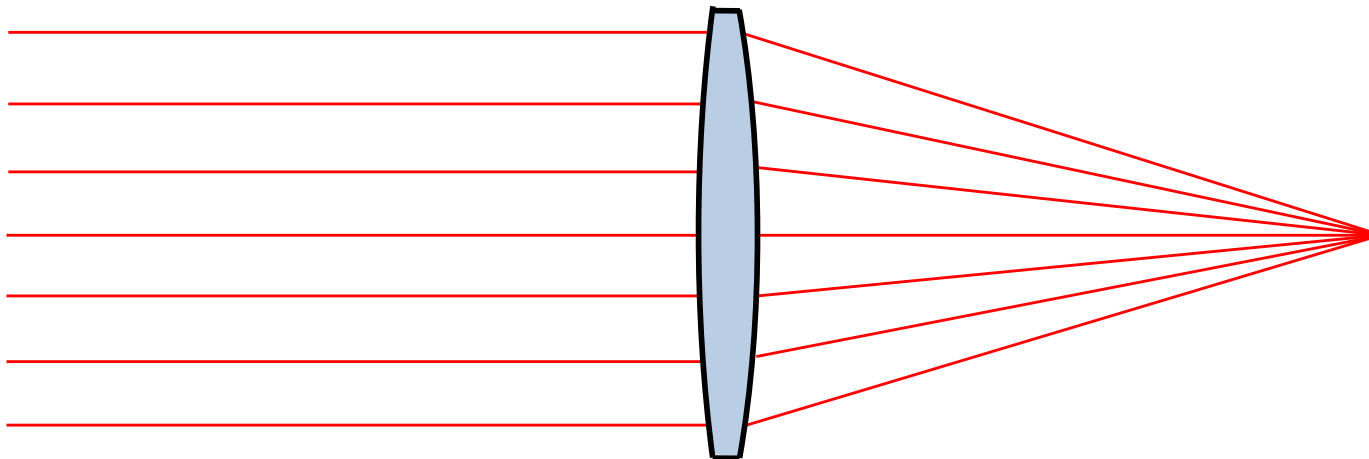
Dans ce schéma les rayons varient avec



avec le champ



avec l'ouverture



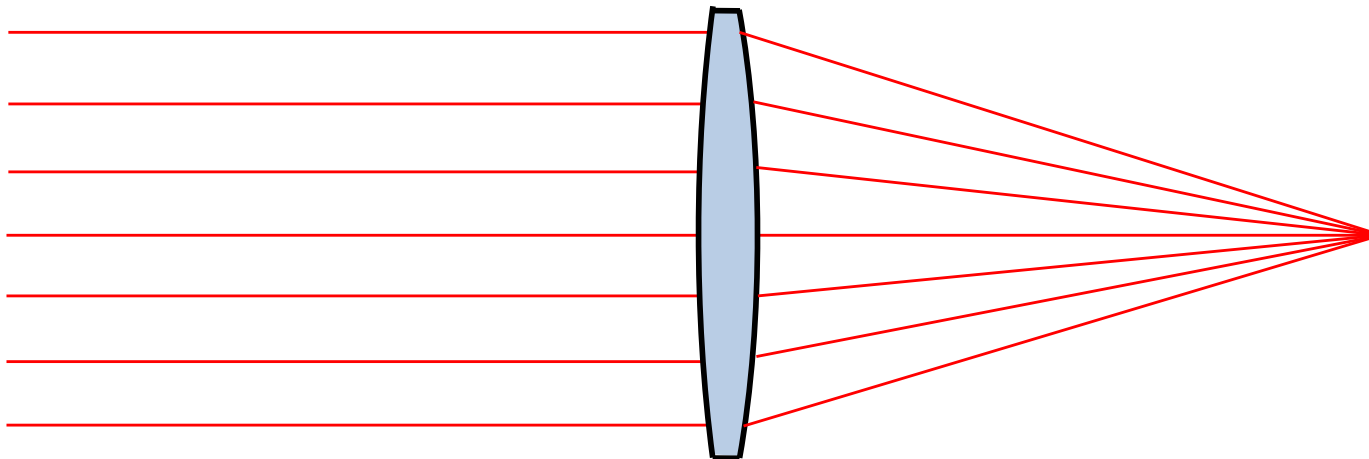
Dans ce schéma les rayons varient avec



avec le champ



avec l'ouverture



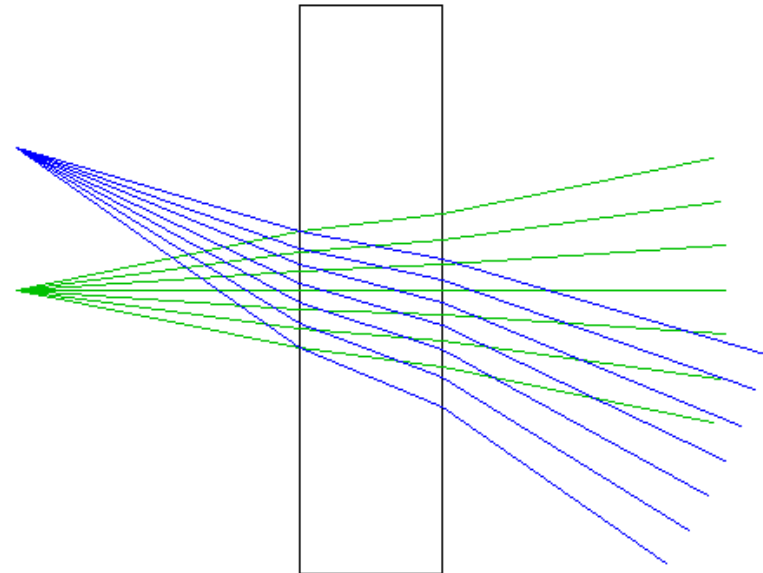
La lame à faces parallèles est-elle stigmatique ?



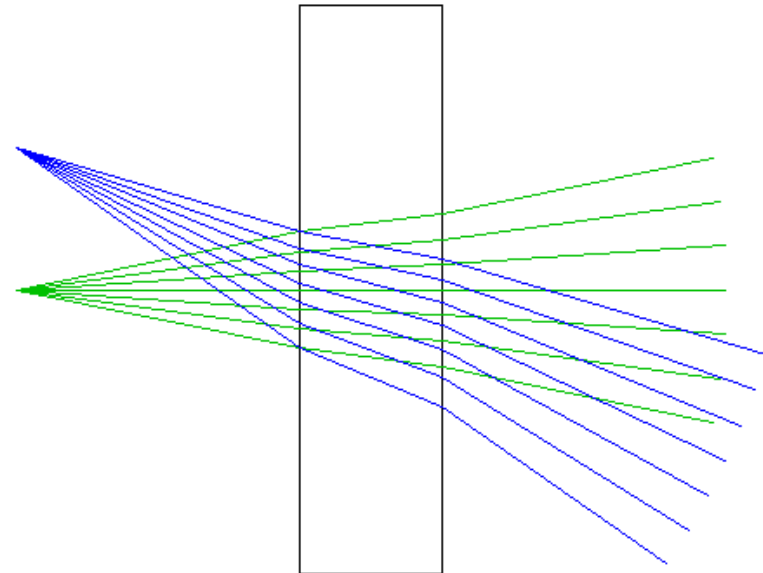
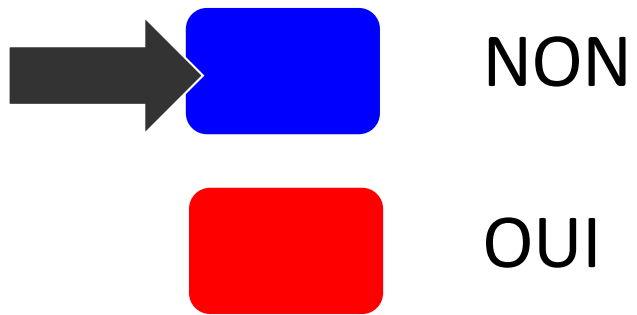
NON



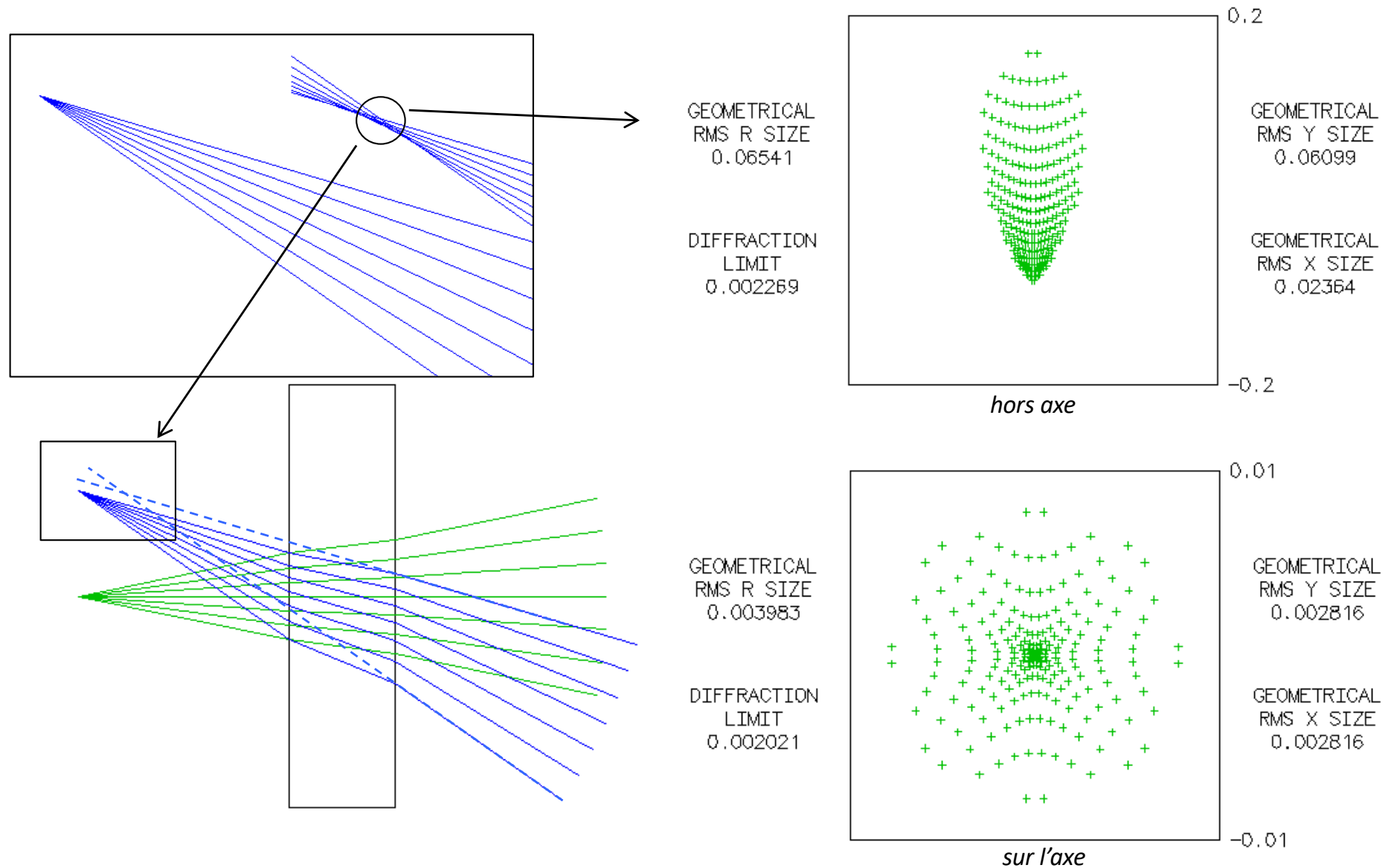
OUI

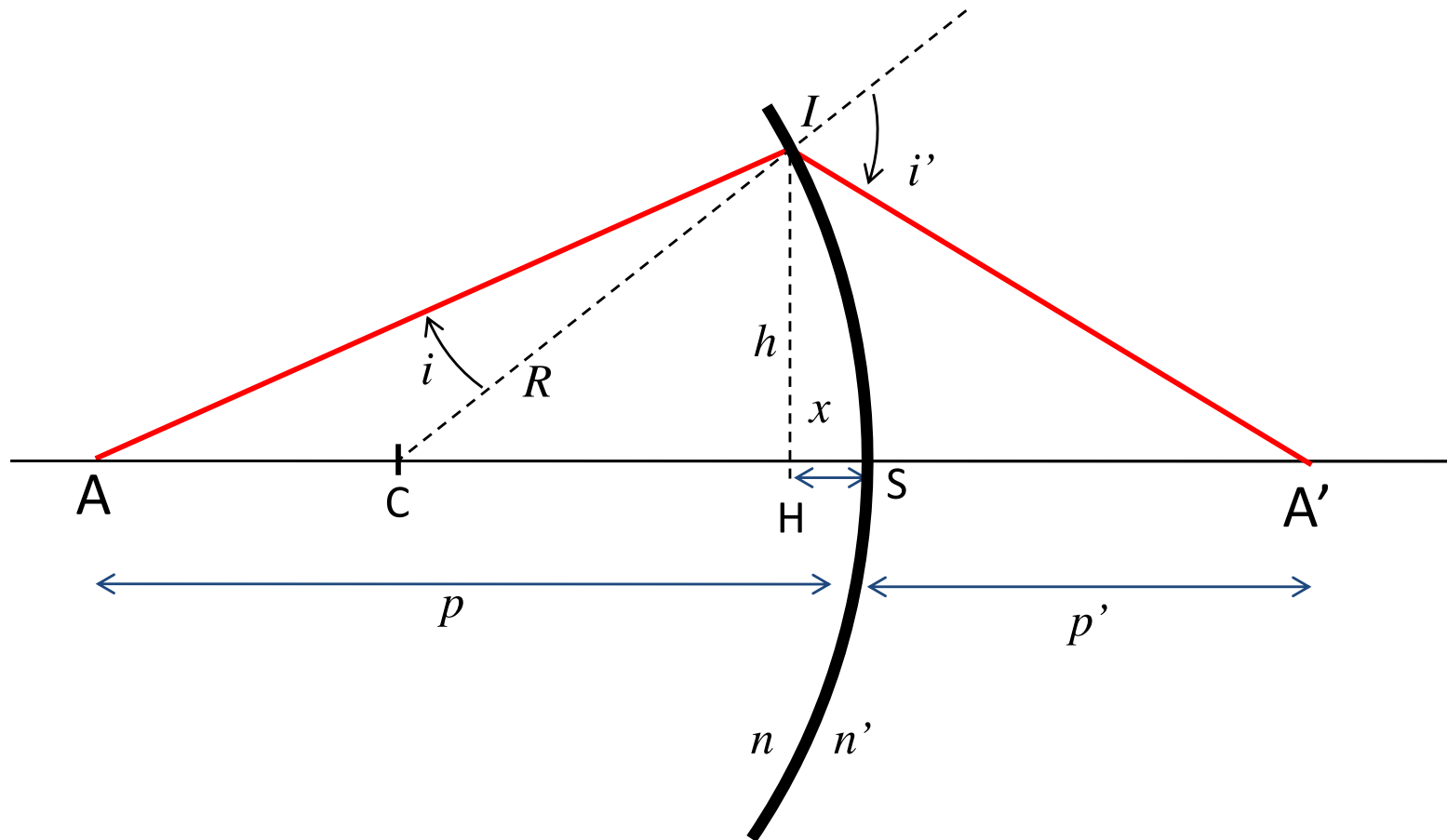


La lame à faces parallèles est-elle stigmatique ?

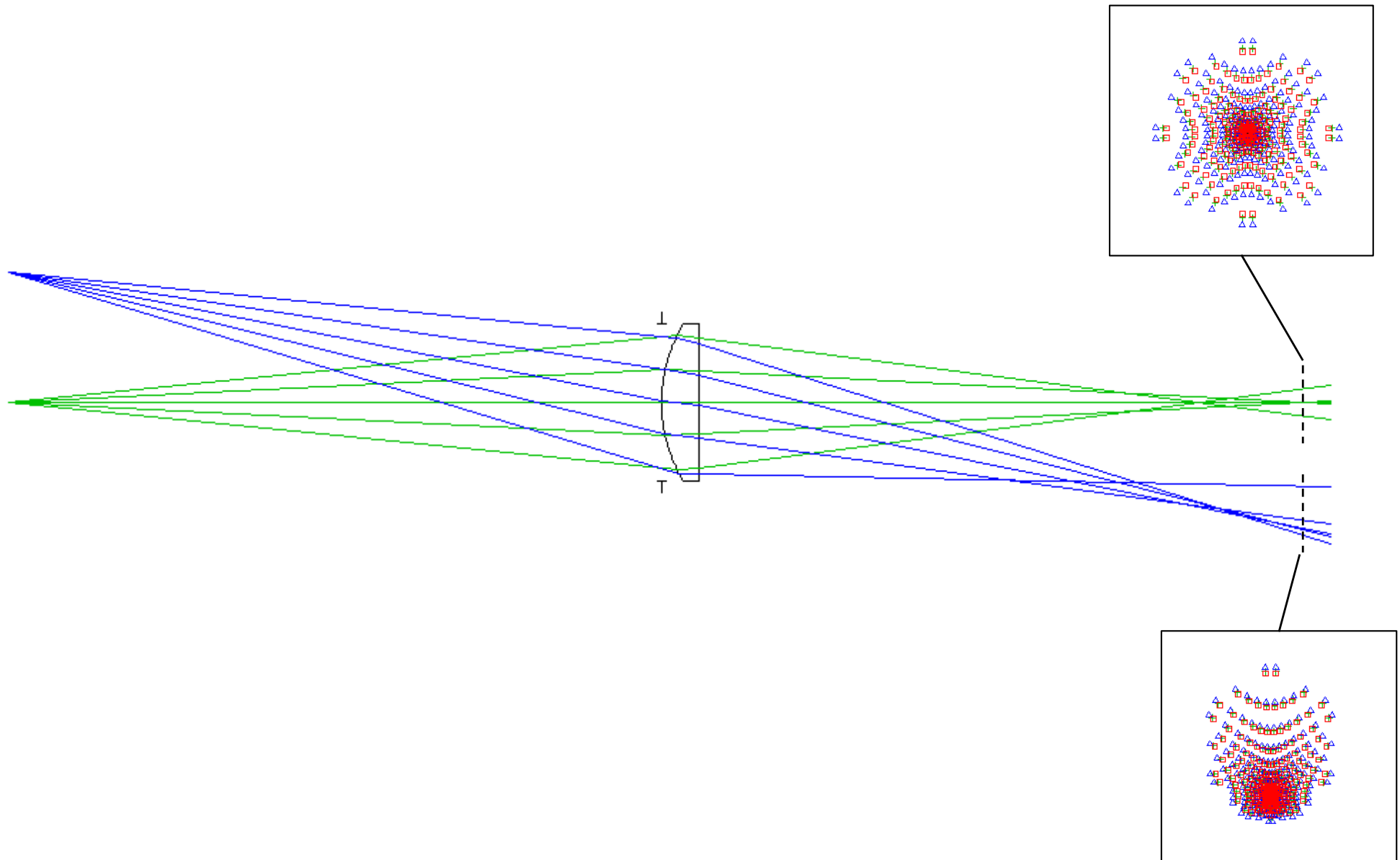


La lame à faces parallèles n'est pas stigmatique !

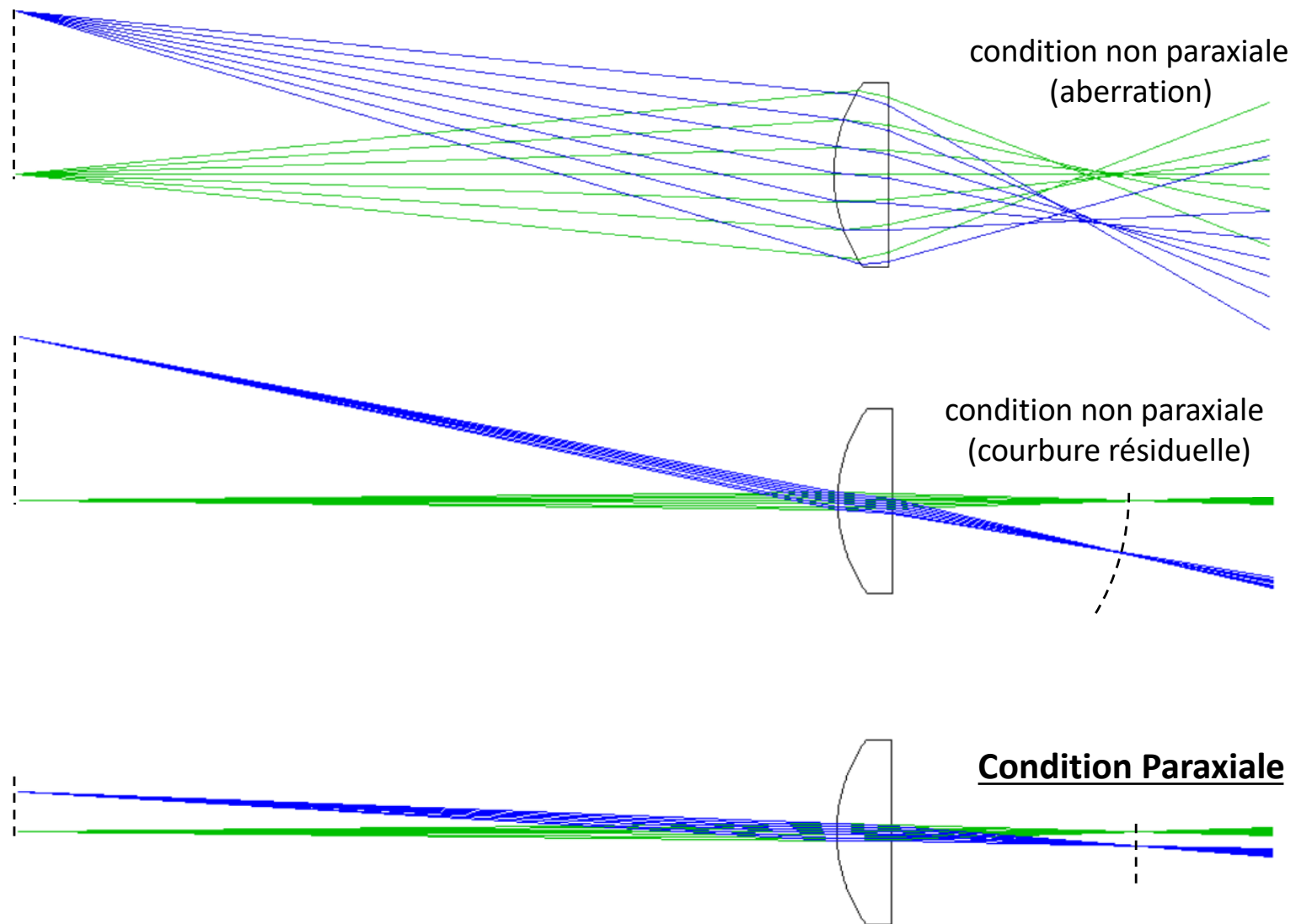




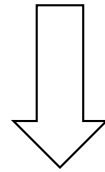
Exemple de la lentille plan-convexe



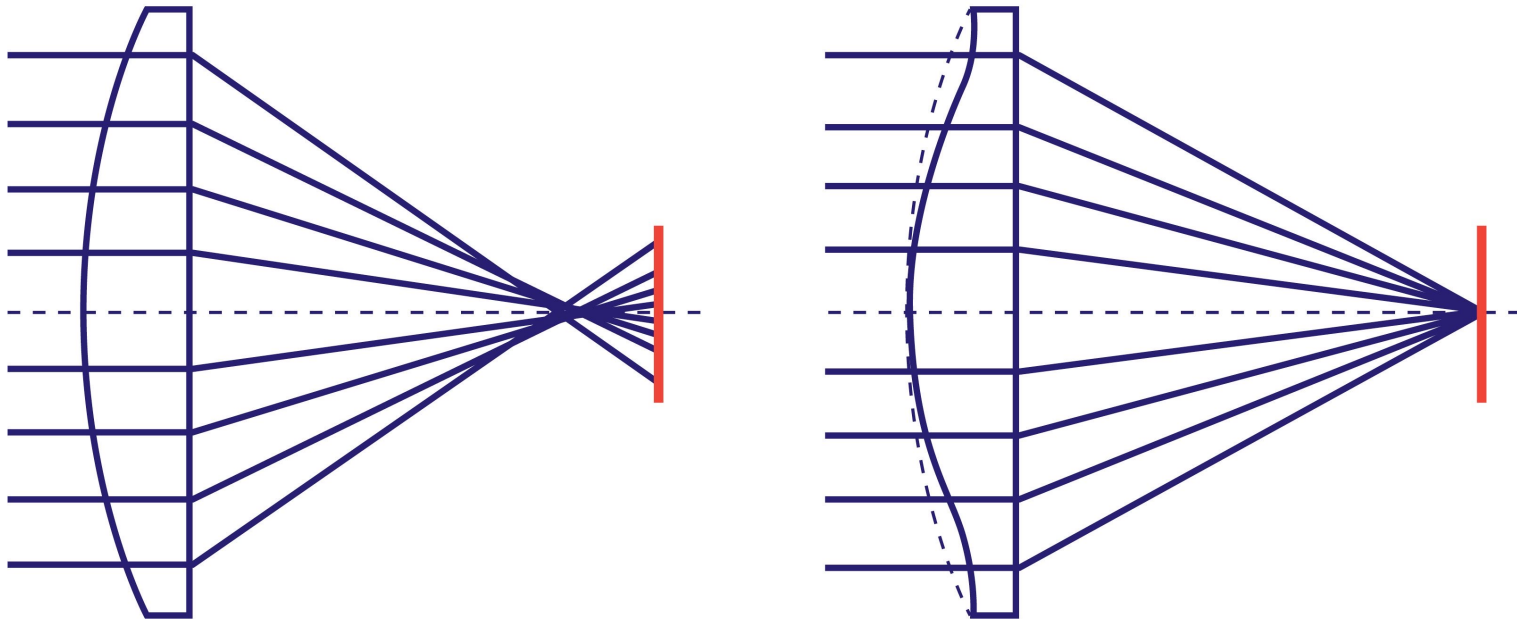
Exemple de la lentille plan-convexe



Les lentilles à dioptries sphériques
ne sont pas stigmatiques !



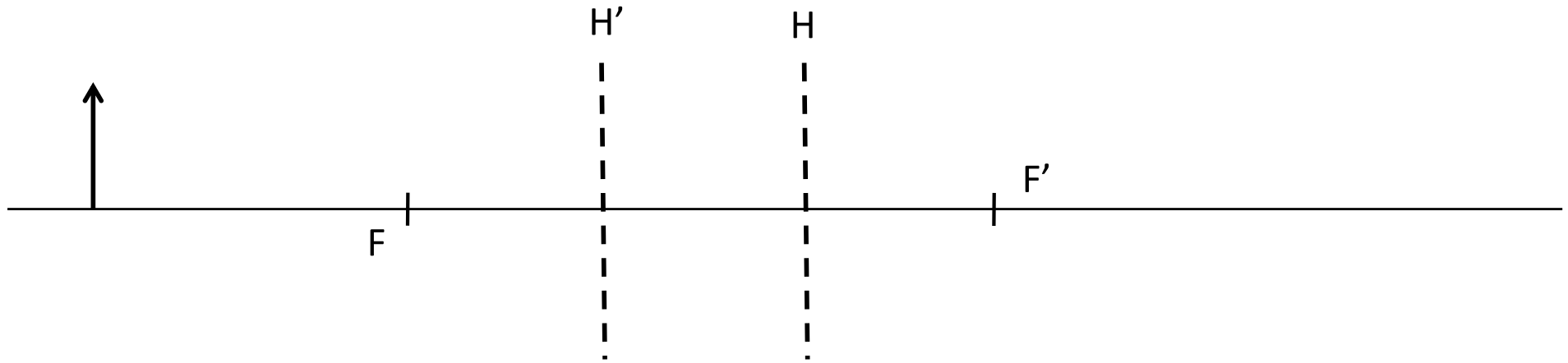
Une face asphérique peut rendre la lentille stigmatique



cours 3

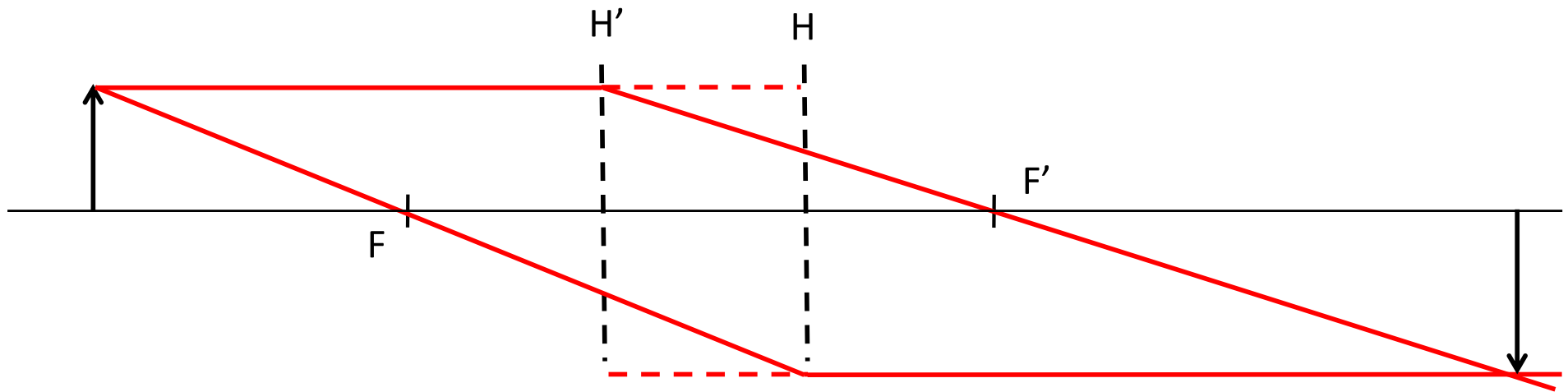
exemple

$$n = n'$$



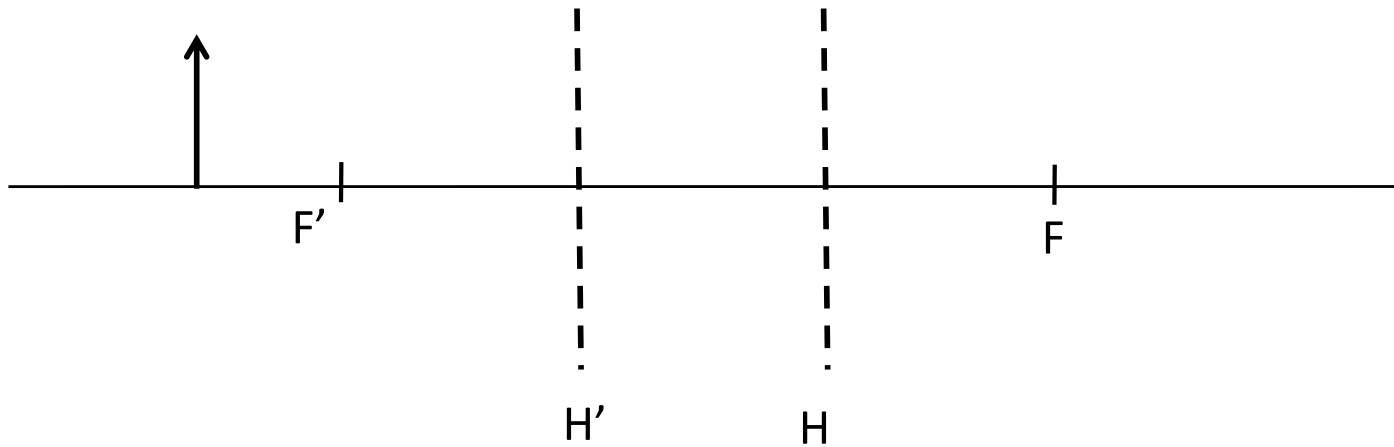
exemple

$$n = n'$$

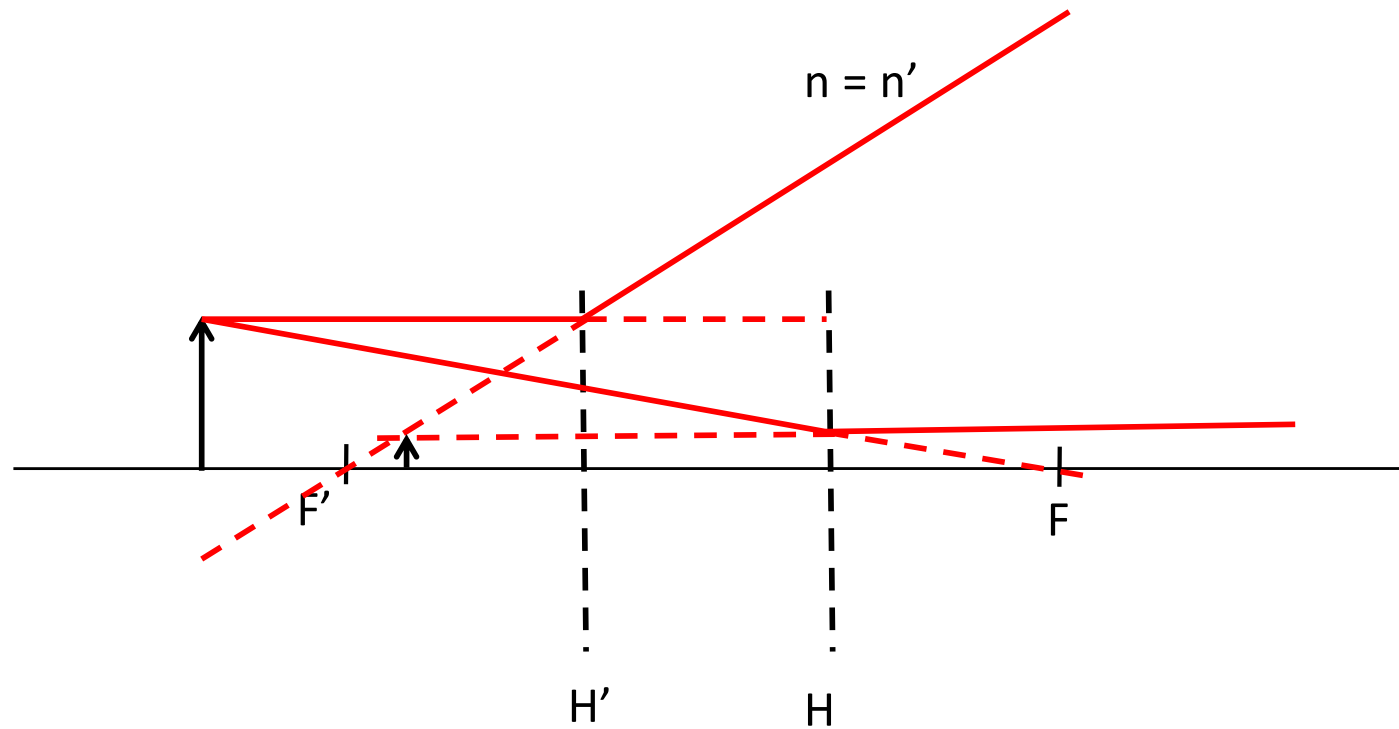


exemple

$$n = n'$$

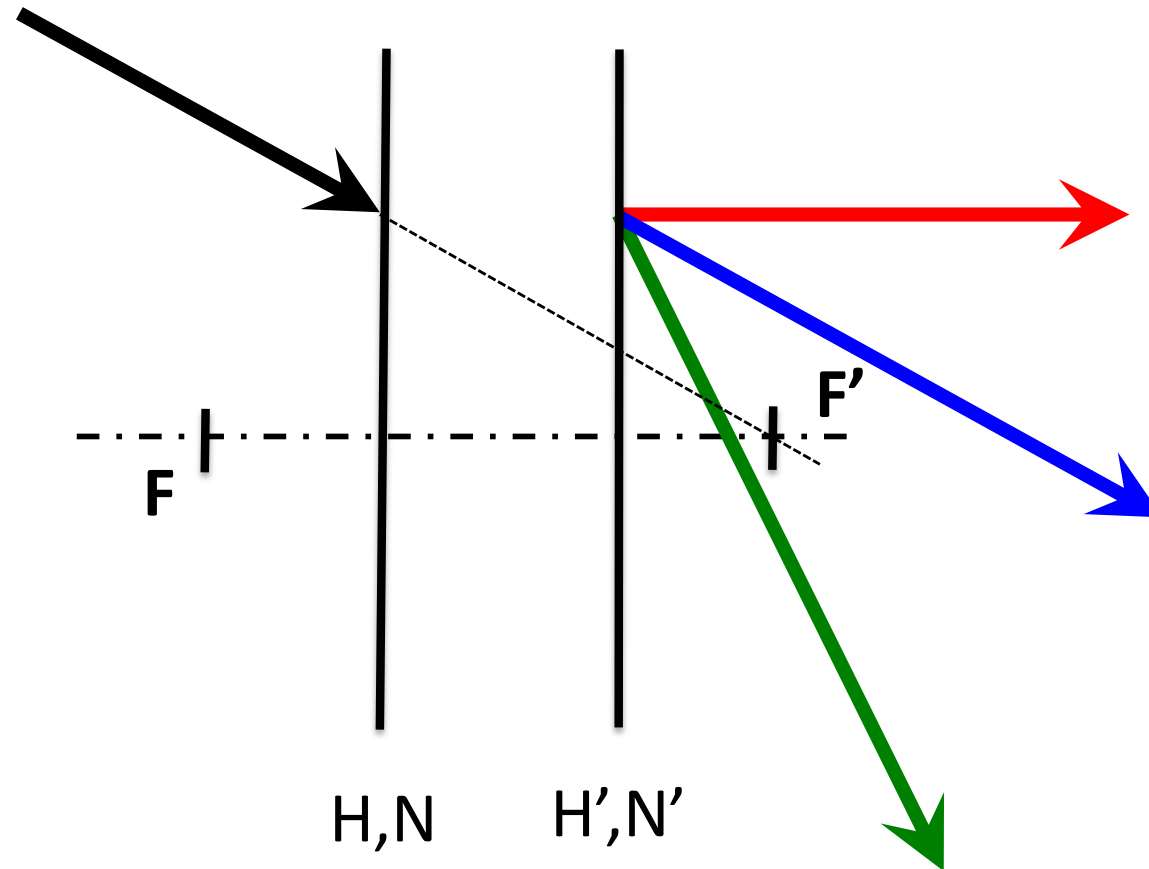


exemple

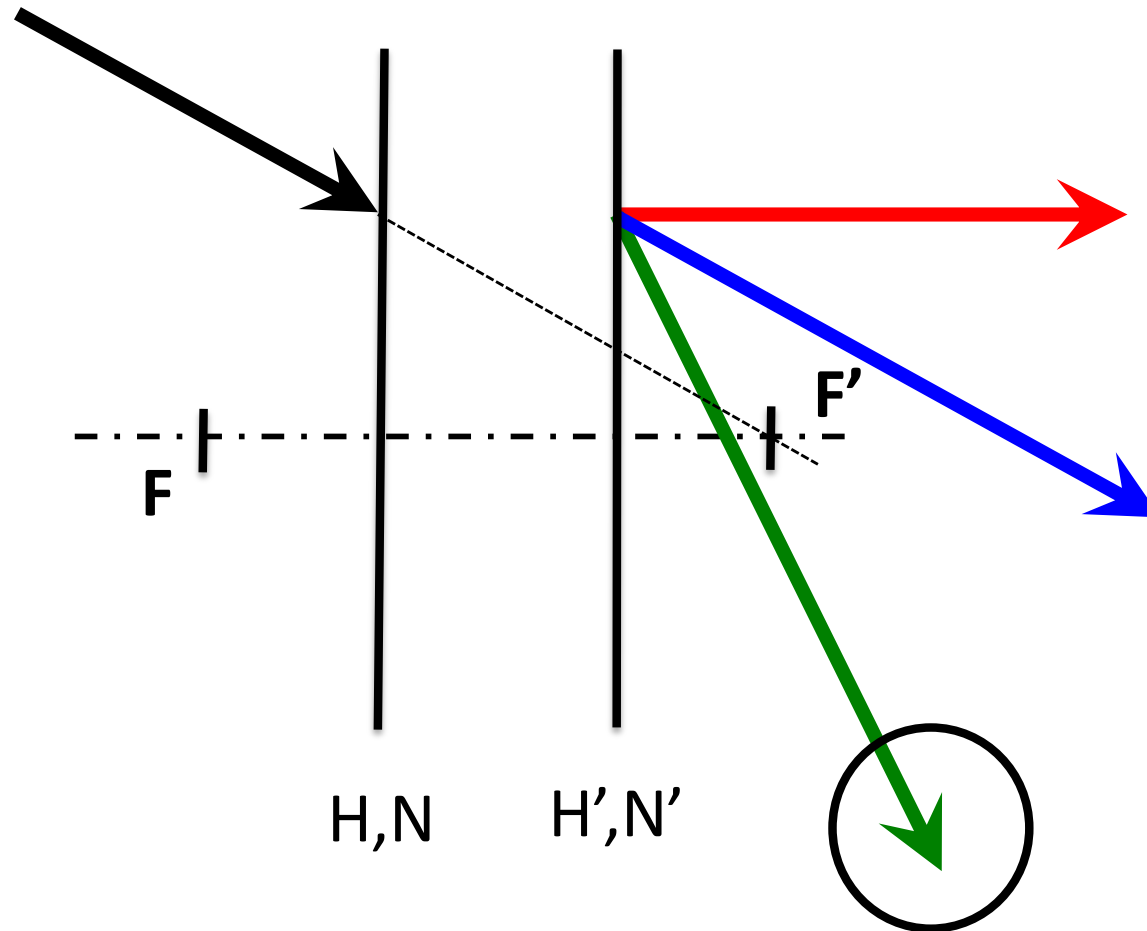


cours 4

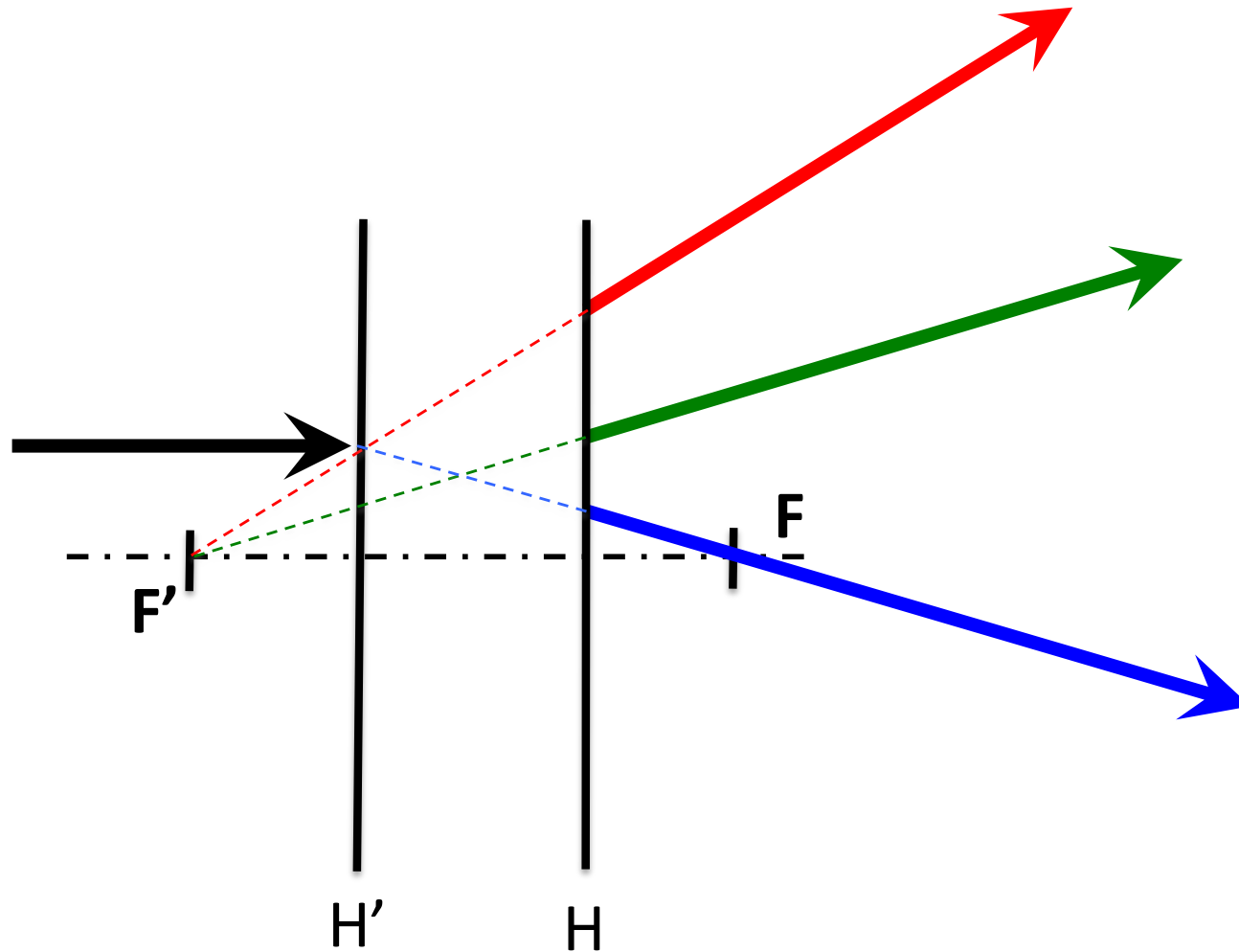
Quel est le bon rayon émergent ?



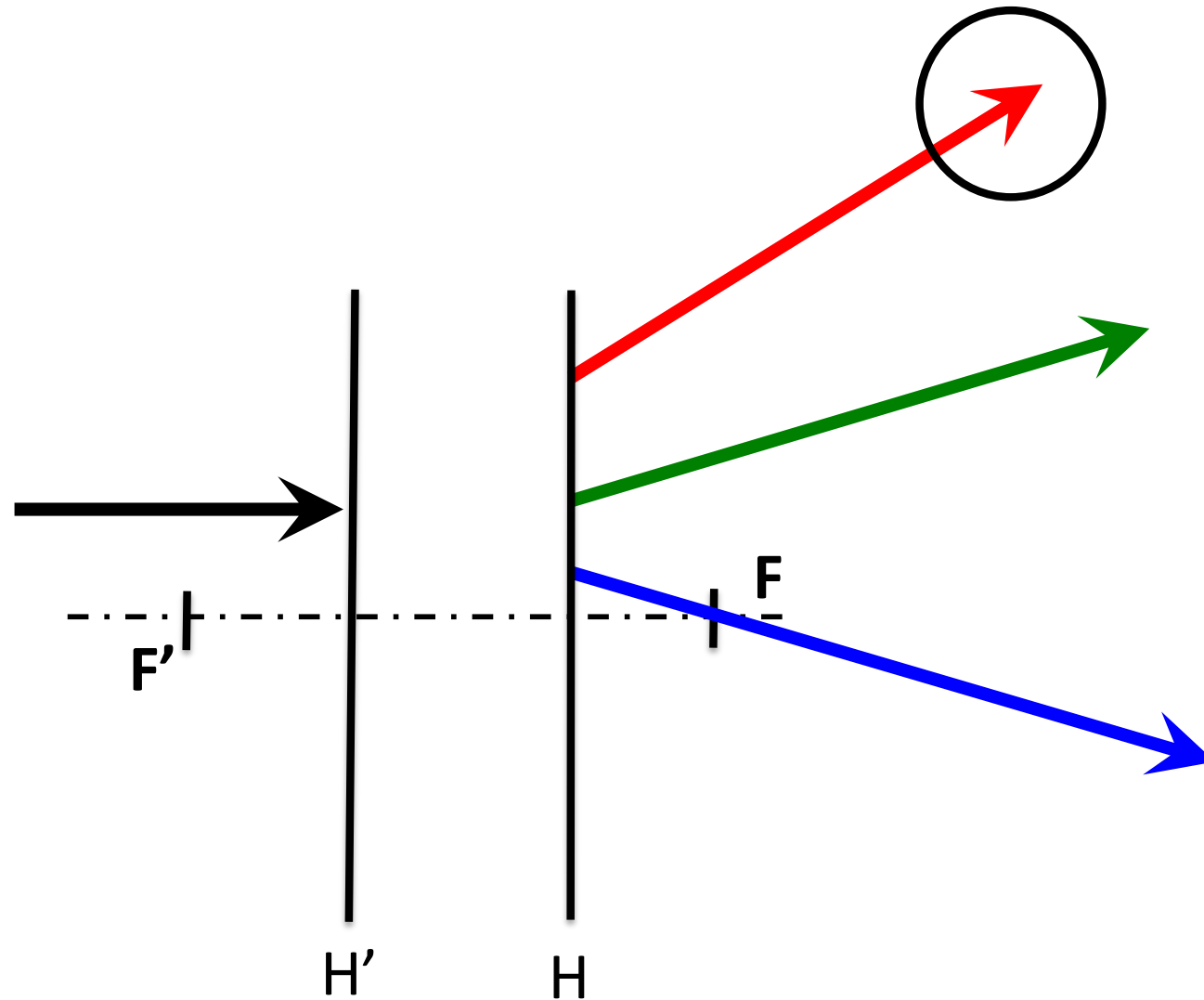
Quel est le bon rayon émergent ?



Quel est le bon rayon émergent ?



Quel est le bon rayon émergent ?

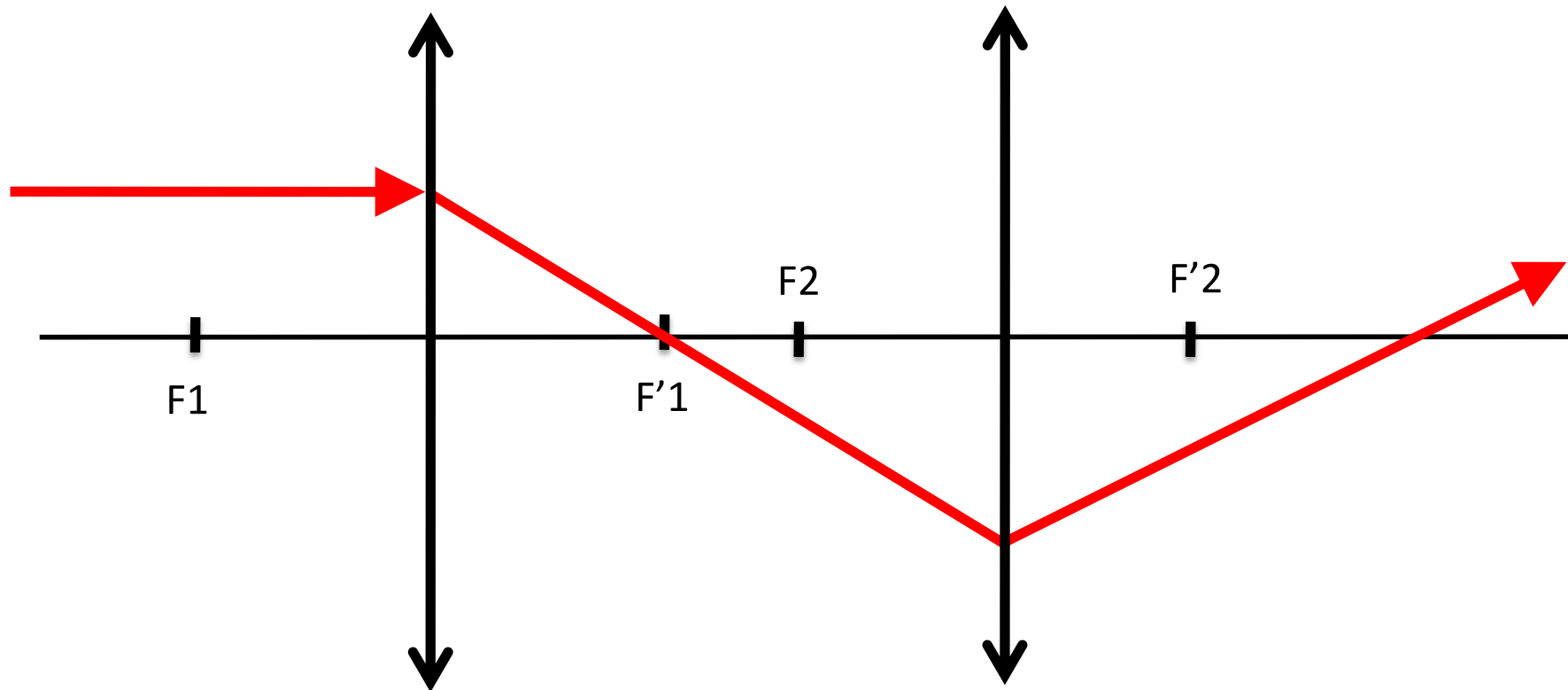


La focale image de tout le système est-elle...

1. Positive

2. Négative

3. Infinie



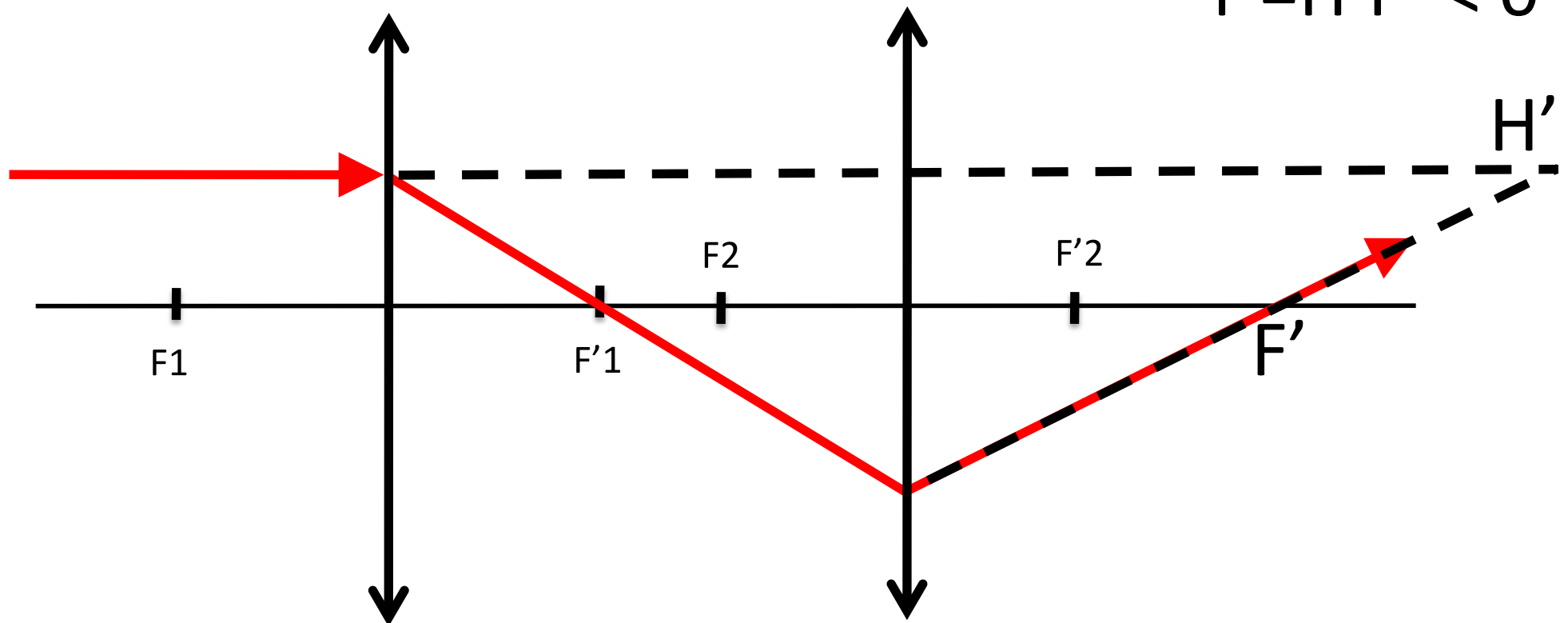
La focale image de tout le système est-elle...

Positive

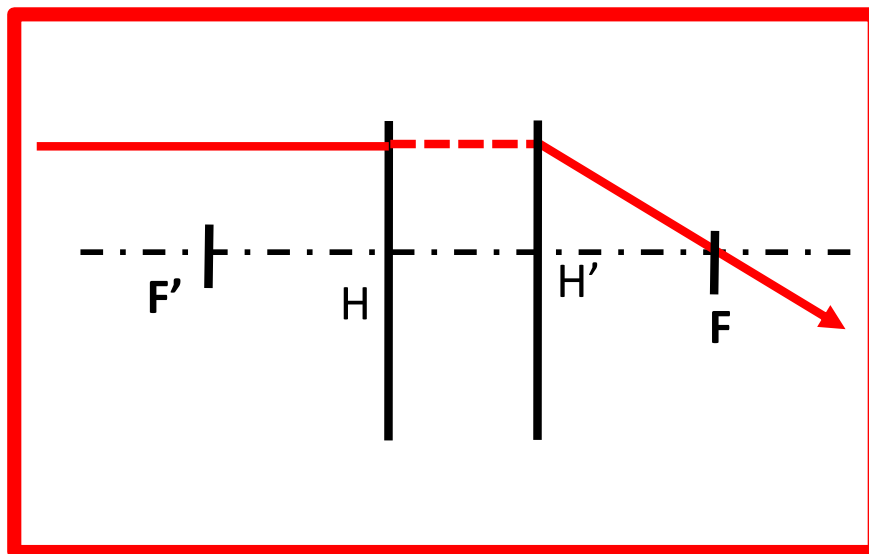
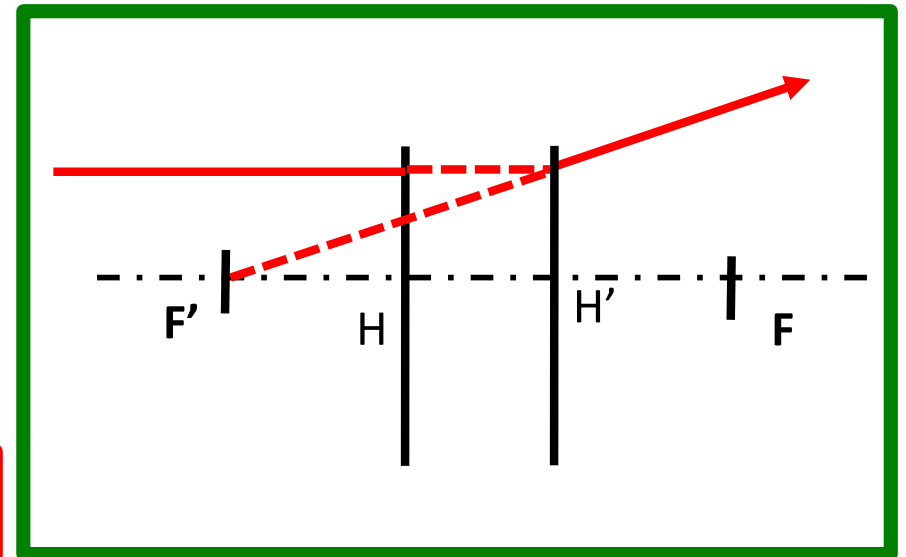
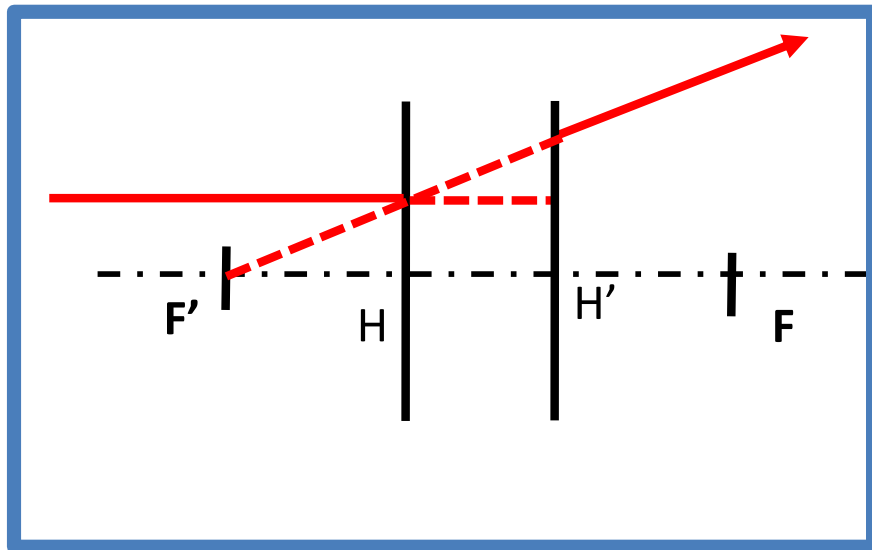
Négative

Infinie

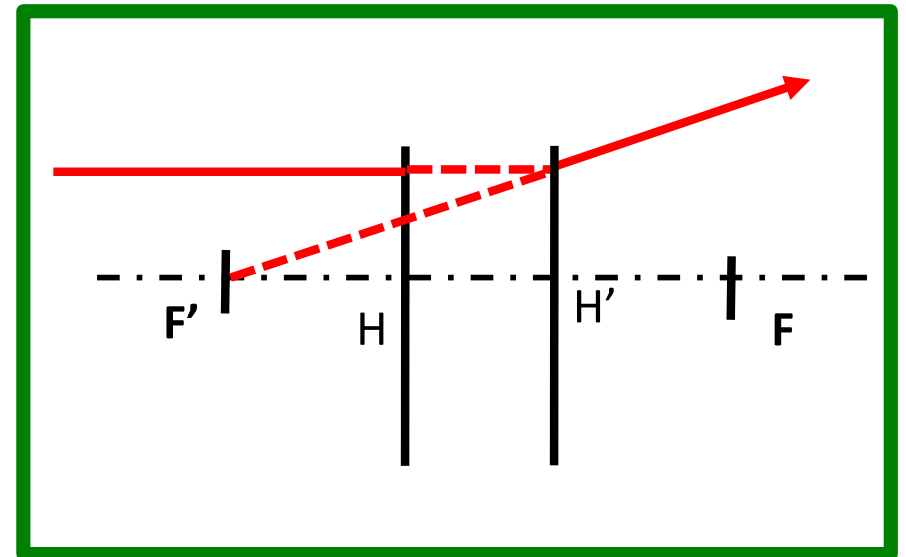
$$f' = \overline{H'F'} < 0$$



Quel tracé est correct ?



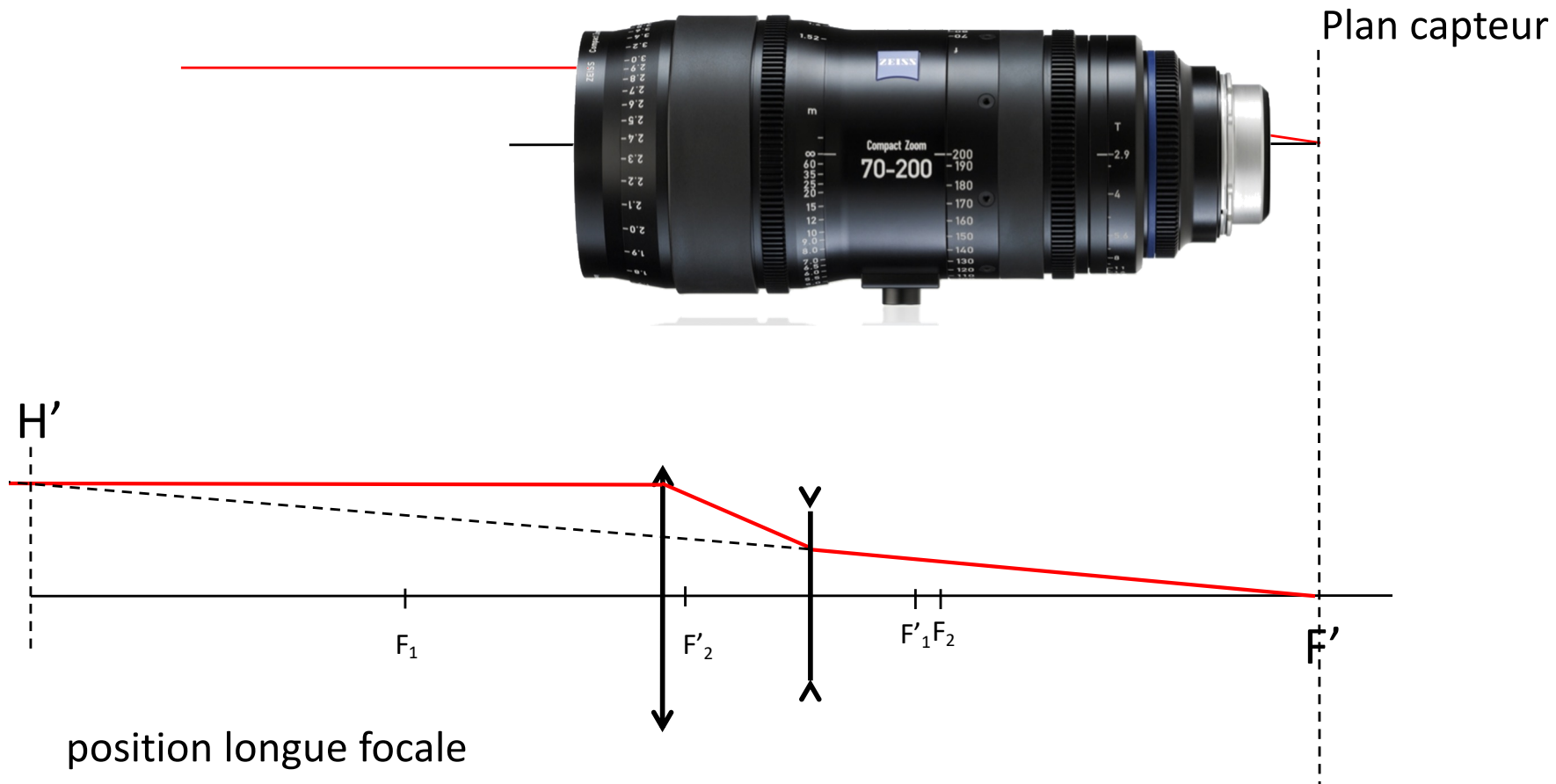
Quel tracé est correct ?



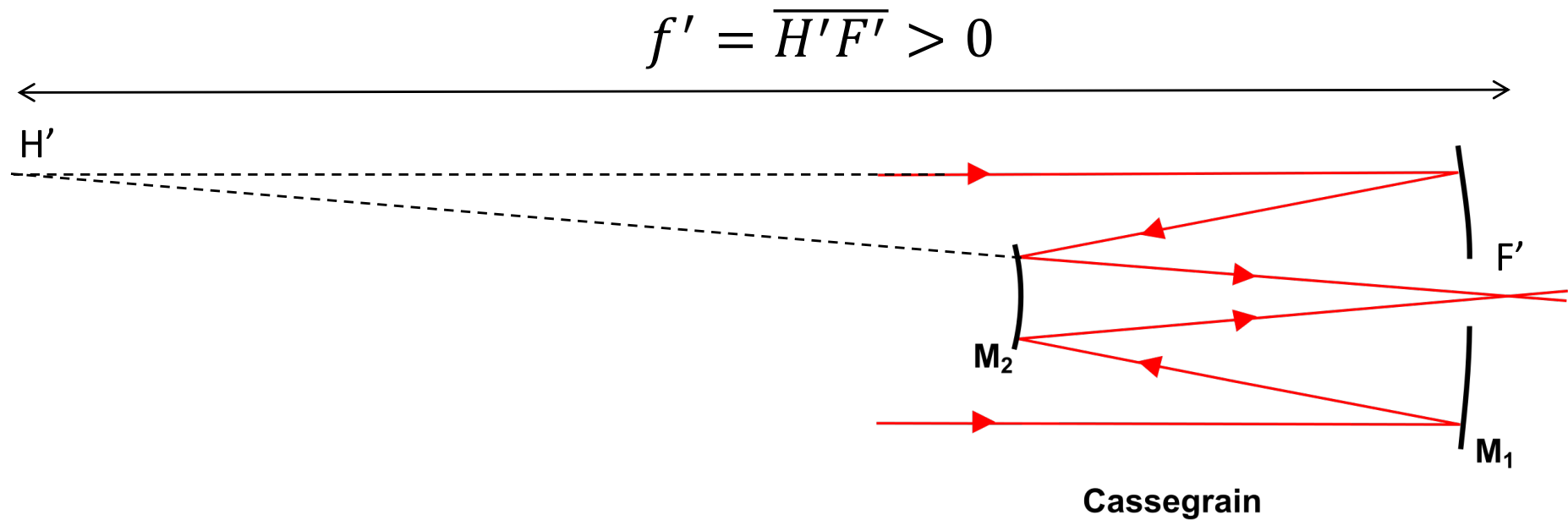
■ Application aux systèmes centrés : le zoom



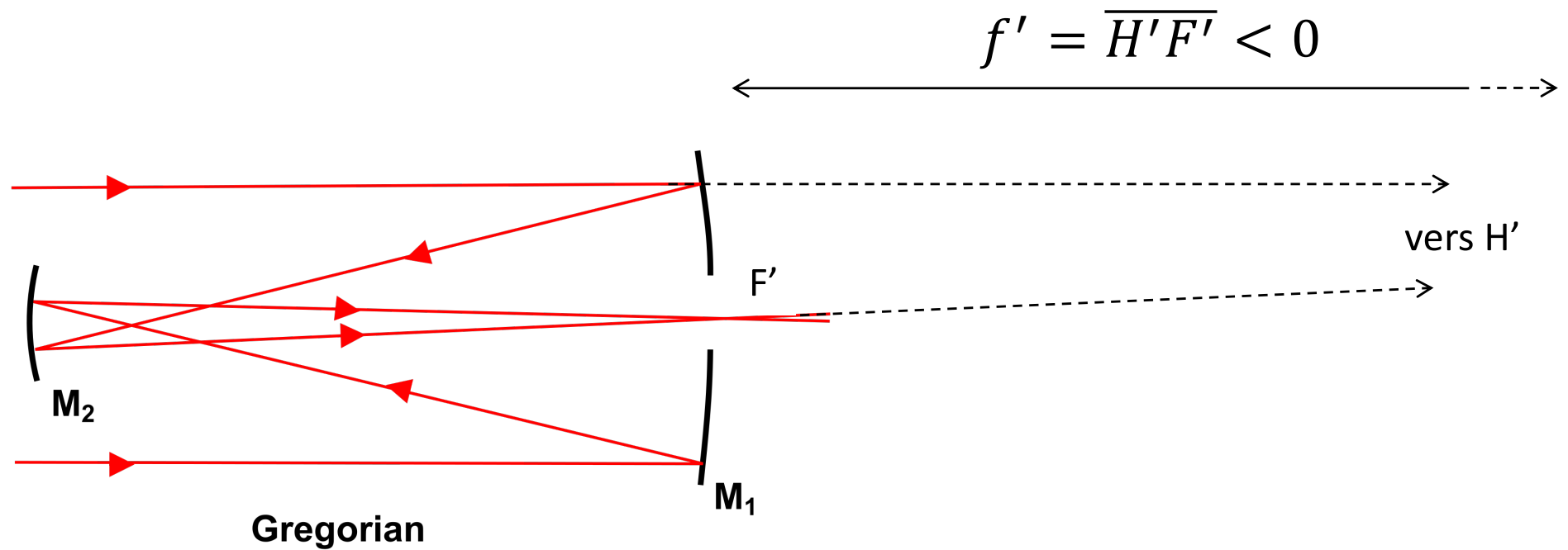
■ Application aux systèmes centrés : le zoom



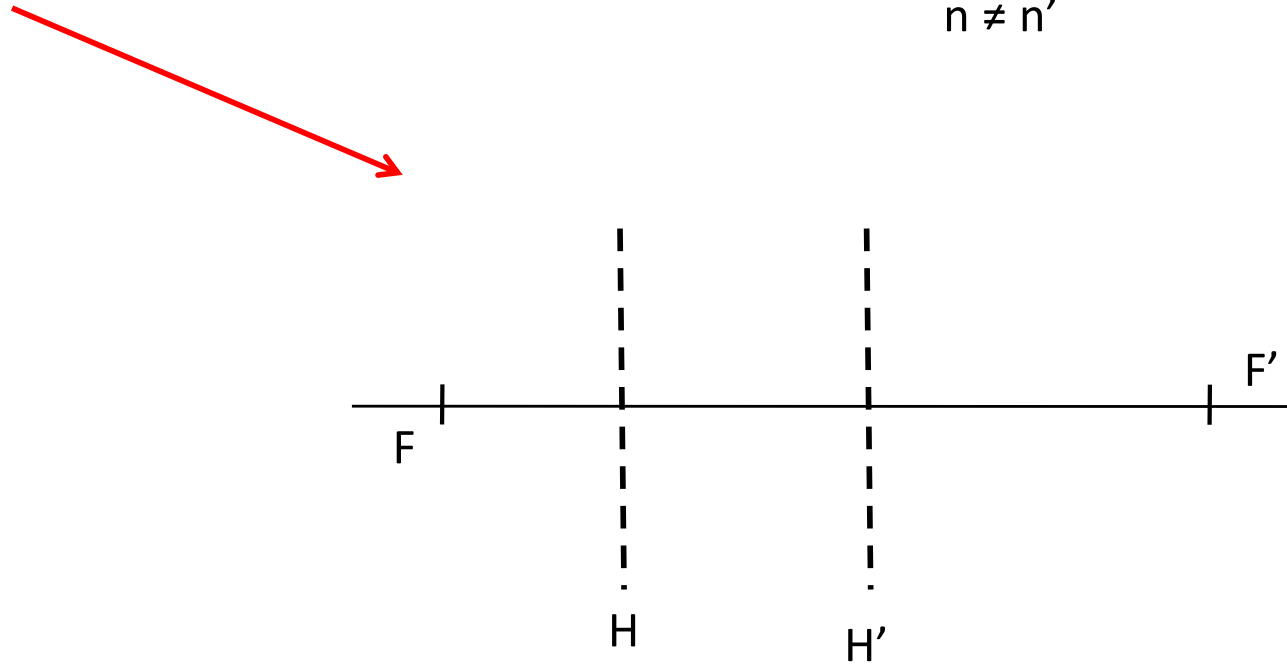
■ Application aux systèmes centrés : le télescope Cassegrain



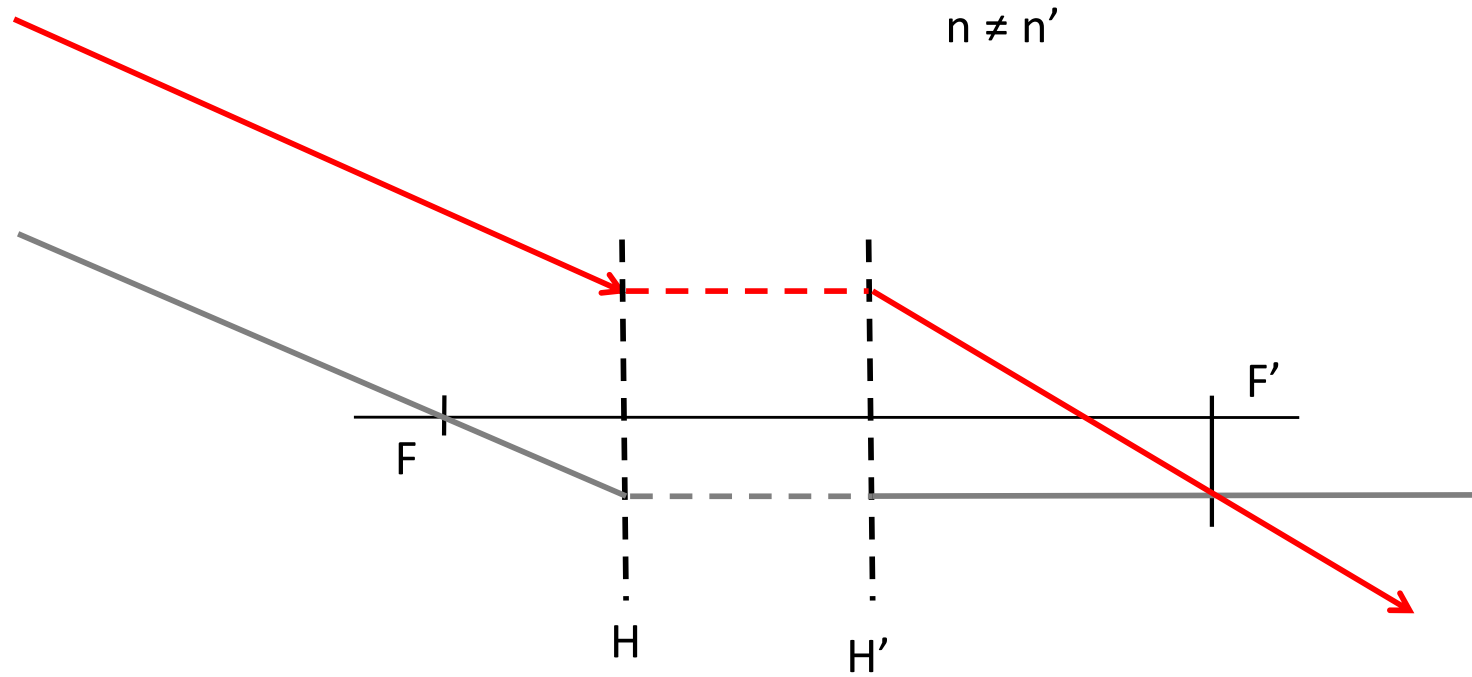
■ Application aux systèmes centrés : le télescope Grégori



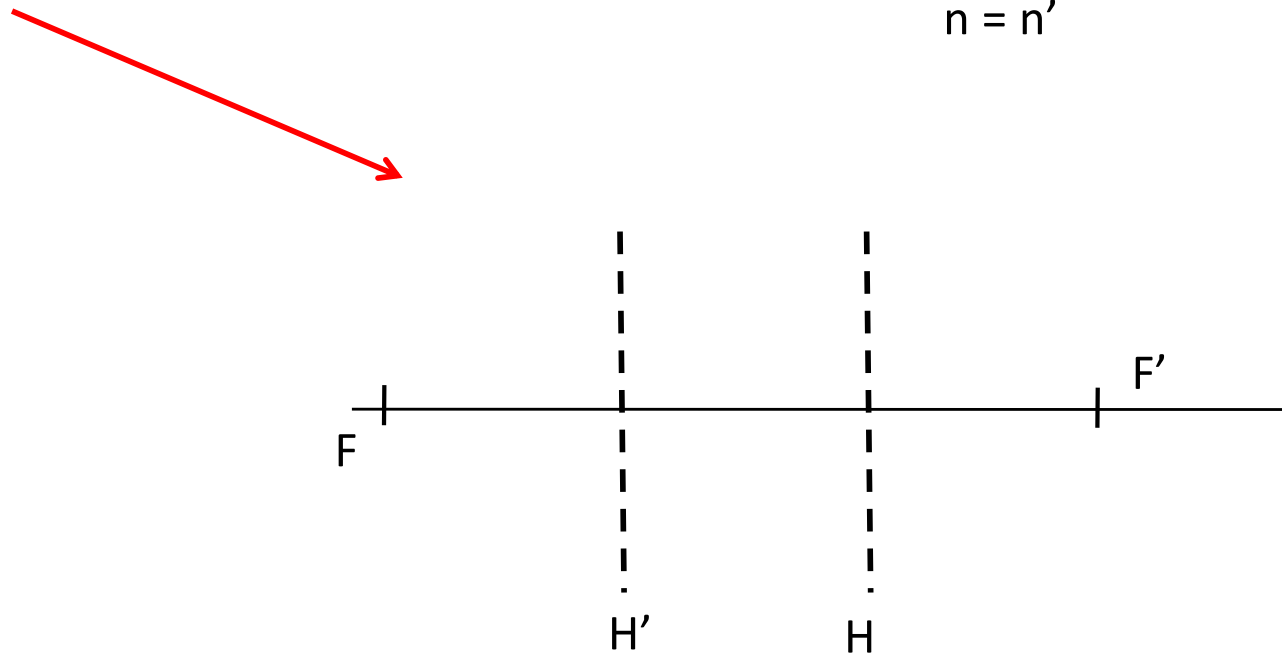
exemple



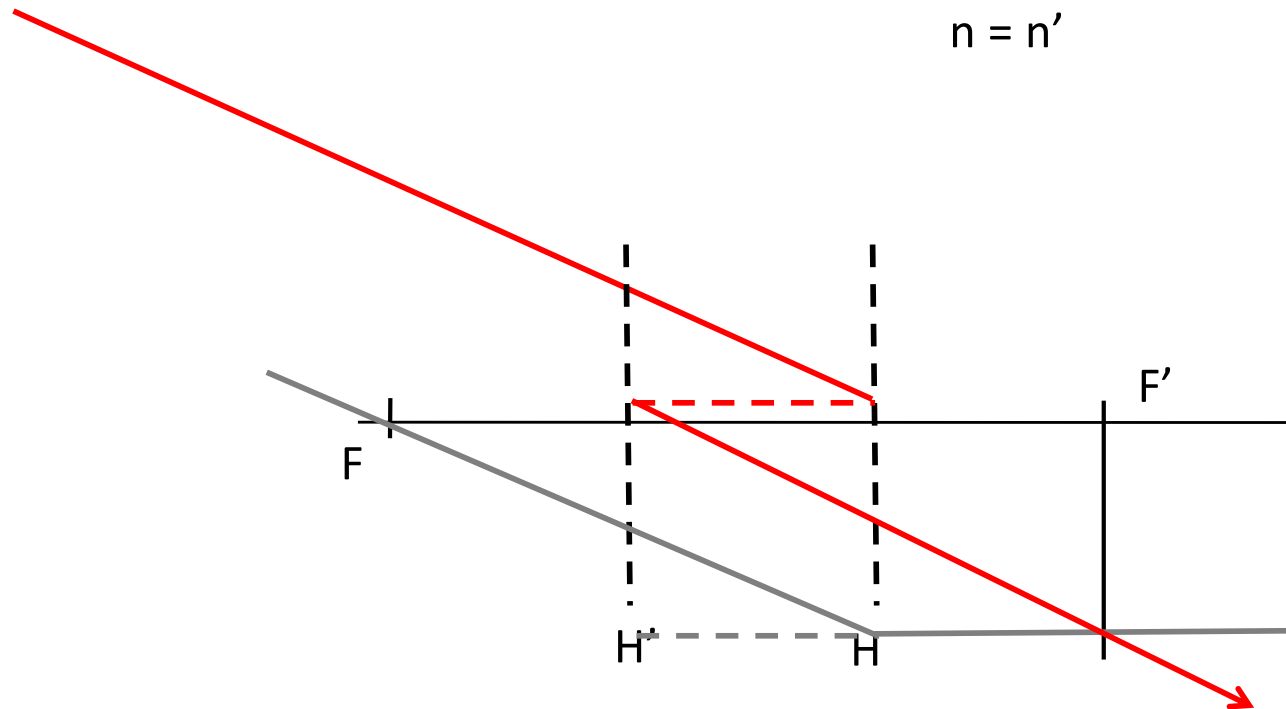
exemple



exemple



exemple



cours 5

Le miroir sphérique est rigoureusement stigmatique
pour un objet placé à l'infini sur l'axe



oui



ça dépend



non

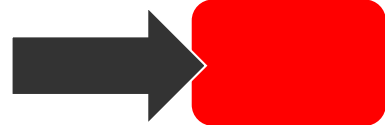
Le miroir sphérique est rigoureusement stigmatique
pour un objet placé à l'infini sur l'axe



oui



ça dépend



non

Image prise avec un télescope de Newton (parabole) Pourquoi les images se dégradent au bord ?

 mauvais réglage

 non aplanétisme

 non stigmatisme

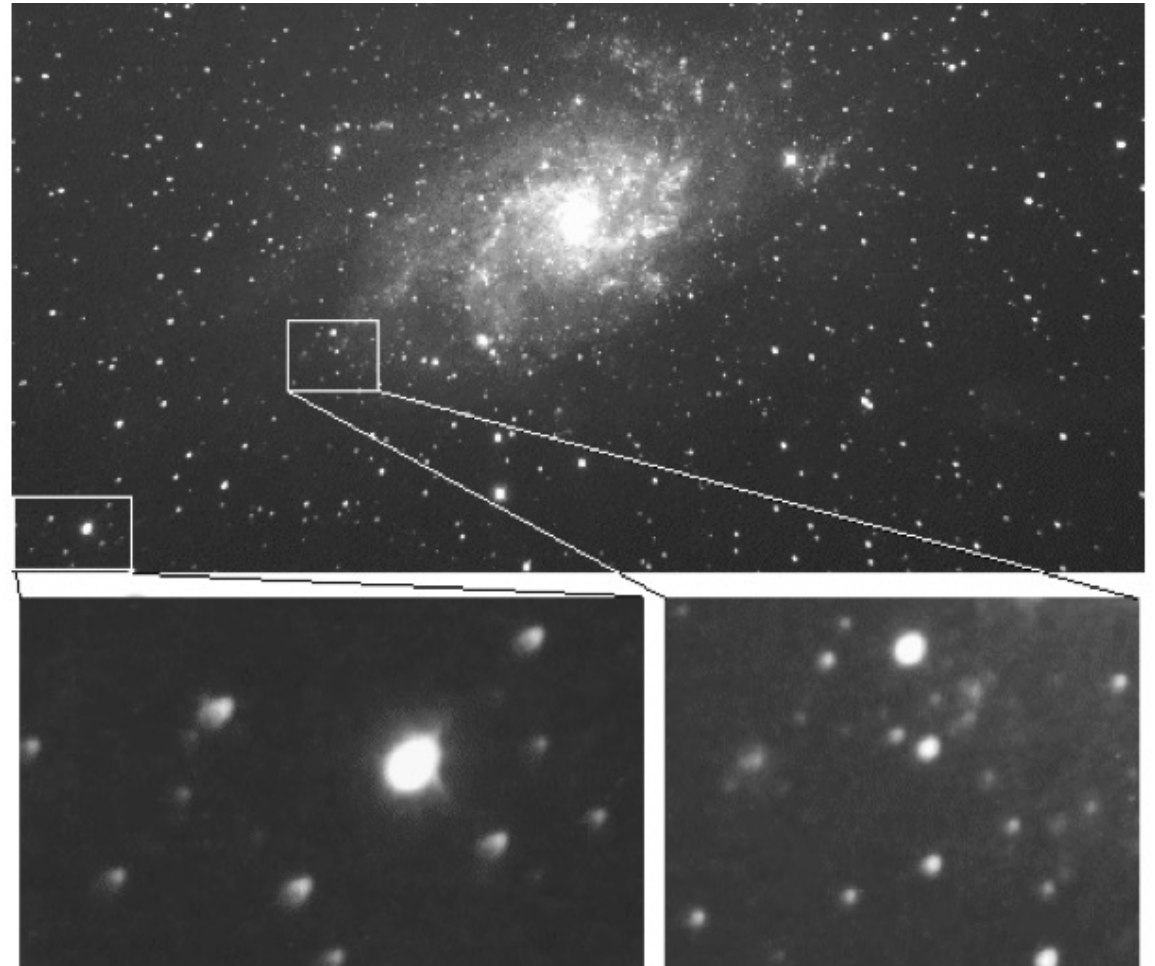
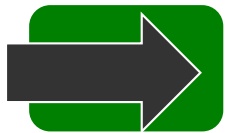


Image prise avec un télescope de Newton (parabole) Pourquoi les images se dégradent au bord ?



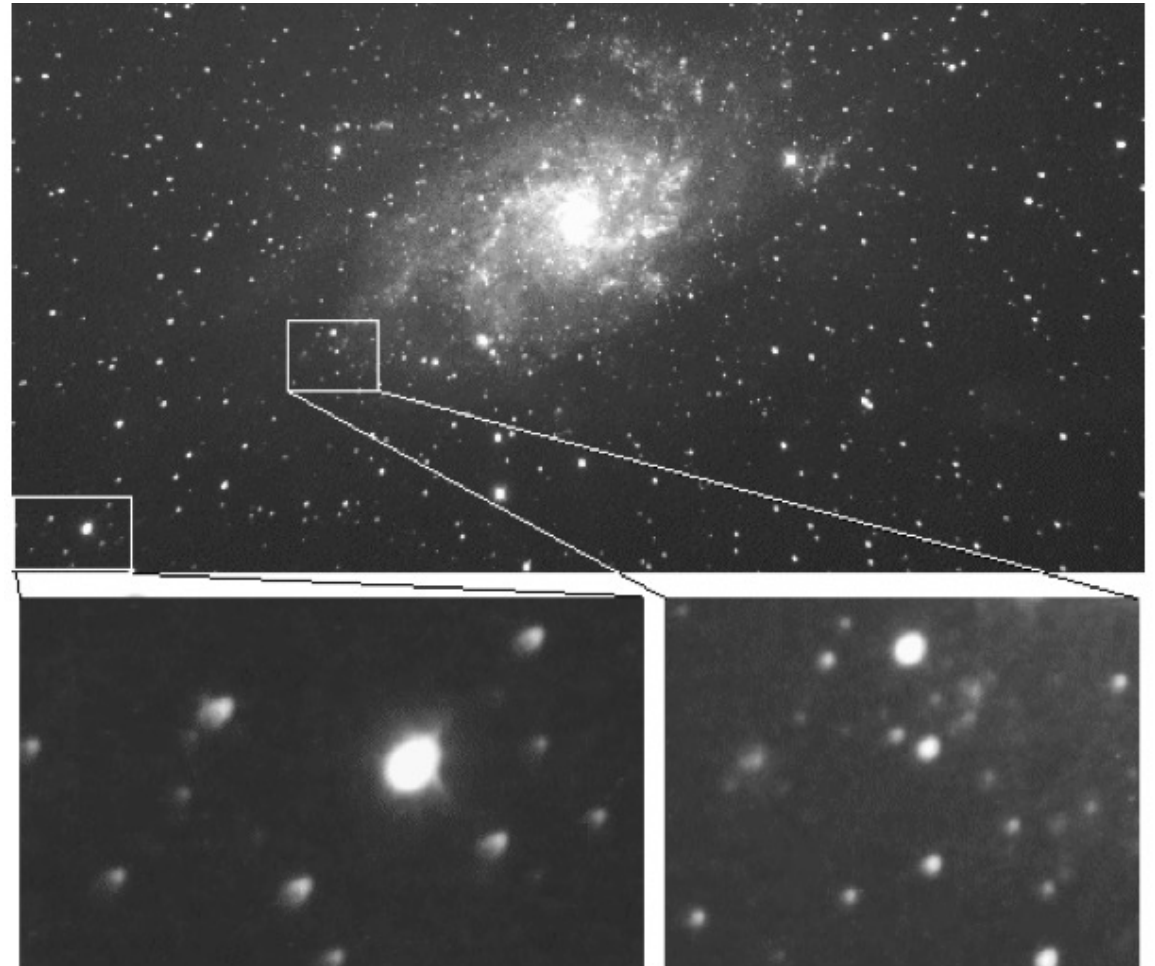
mauvais réglage



non aplanétisme



non stigmatisme



Un œil humain est équivalent à un dioptré sphérique de courbure 5,6 mm et d'indice 1,33.

Que vaut la distance focale objet ?

 22,3 mm

 5,6 mm

 16,7 mm

Un œil humain est équivalent à un dioptre sphérique de courbure 5,6 mm et d'indice 1,33.

Que vaut la distance focale objet ?

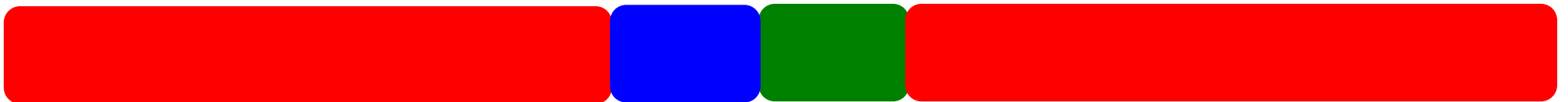
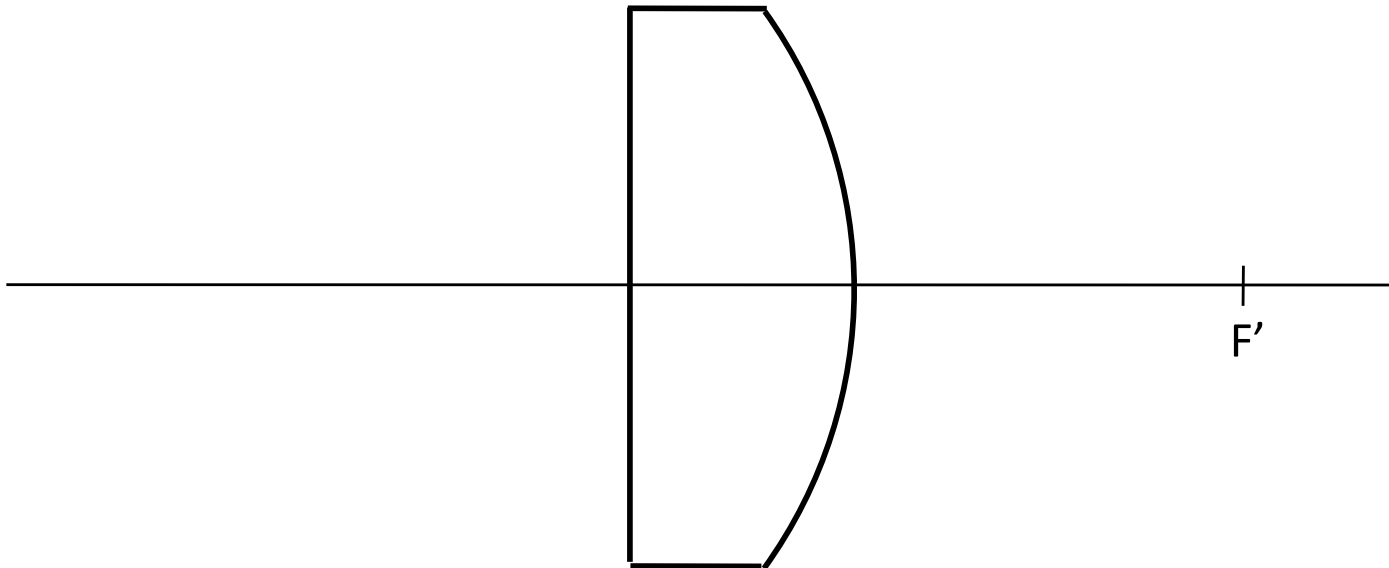
 22,3 mm

 5,6 mm

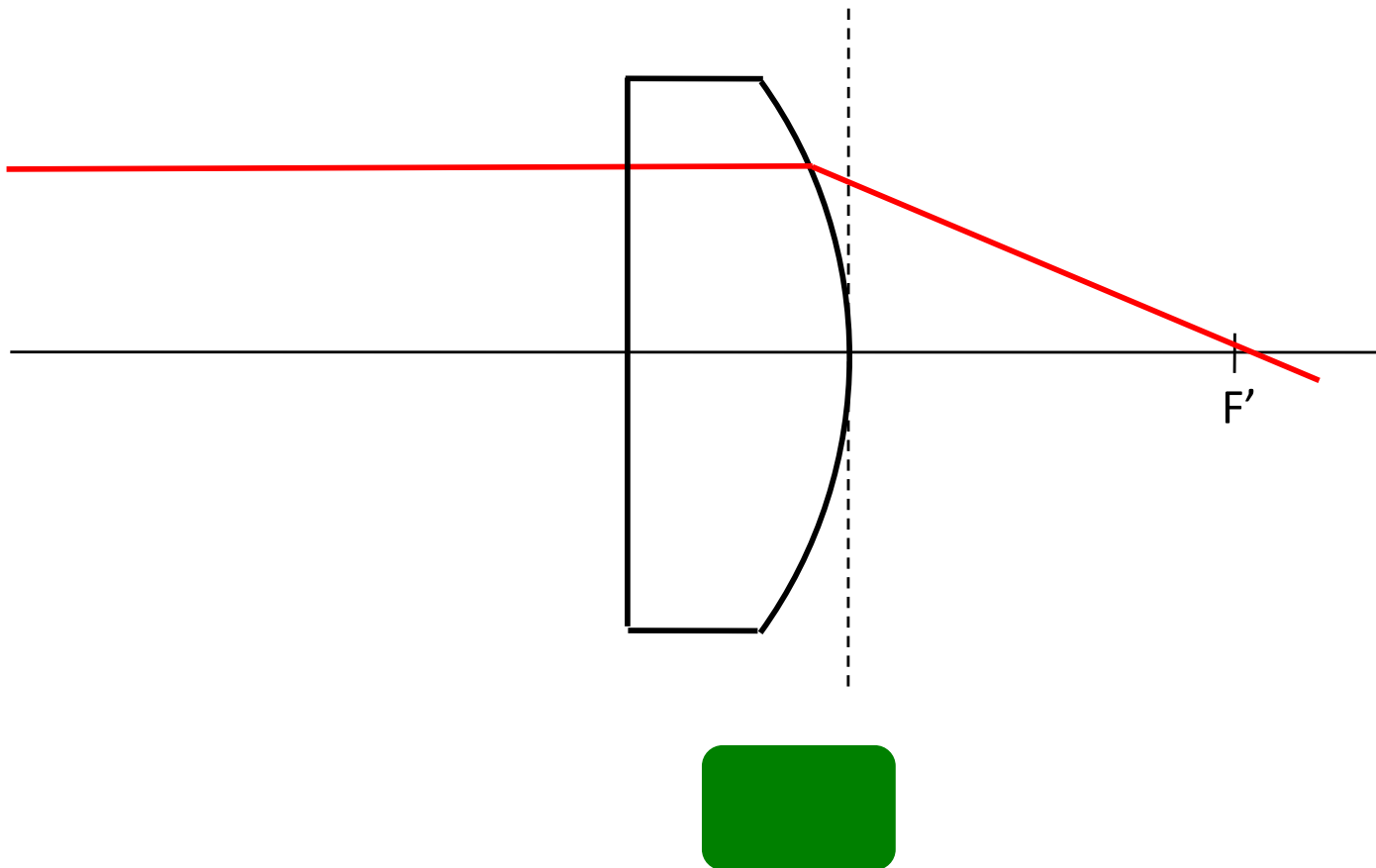
  16,7 mm

$$f = -\frac{f'}{n} = \frac{R}{n-1}$$

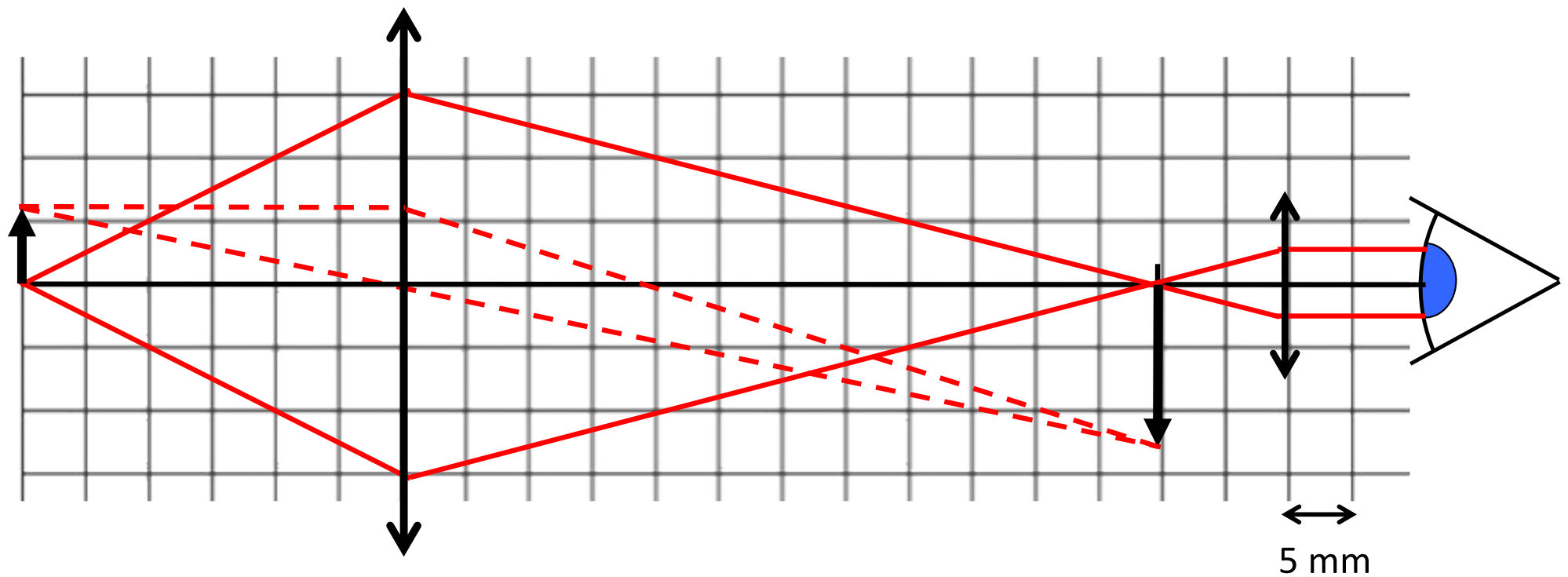
Où se trouve le plan principal image ?



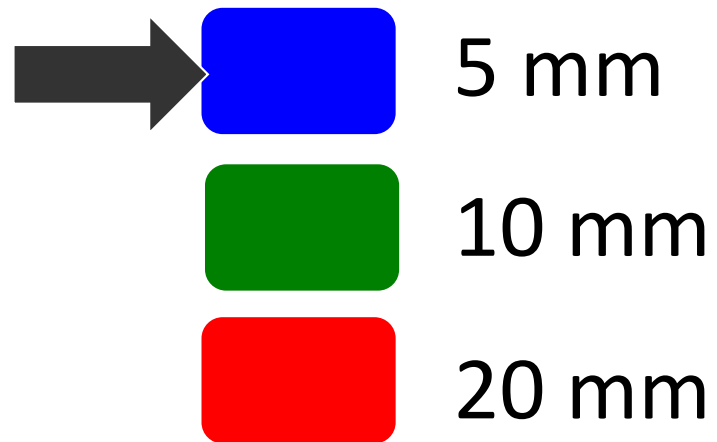
Où se trouve le plan principal image ?



Que vaut la distance focale de ce microscope ?



- 5 mm
- 10 mm
- 20 mm



ceci est un système focal

$$\infty \longrightarrow f'$$

ceci est un système afocal

$$\infty \longrightarrow \infty$$

Un lunette afocale conjugue un objet de taille 10 cm en une image de taille 1 mm. Si on éloigne l'objet de 1 mètre, que devient la taille de l'image ?



Elle augmente



Elle diminue



Elle ne change pas

Un lunette afocale conjugue un objet de taille 10 cm en une image de taille 1 mm. Si on éloigne l'objet de 1 mètre, que devient la taille de l'image ?



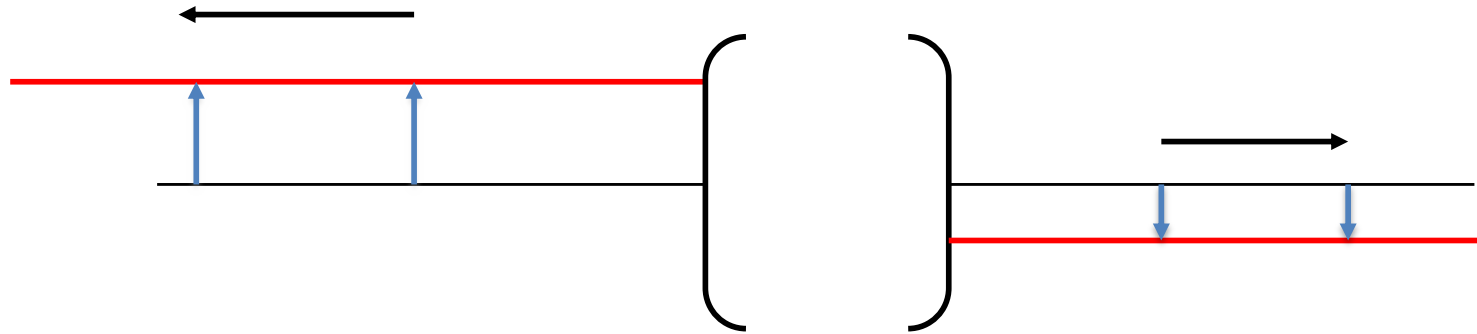
Elle augmente



Elle diminue



Elle ne change pas



La lame à faces parallèles est-elle un système afocal ?



NON



OUI



Cela dépend de la position de l'objet

La lame à faces parallèles est-elle un système afocal ?



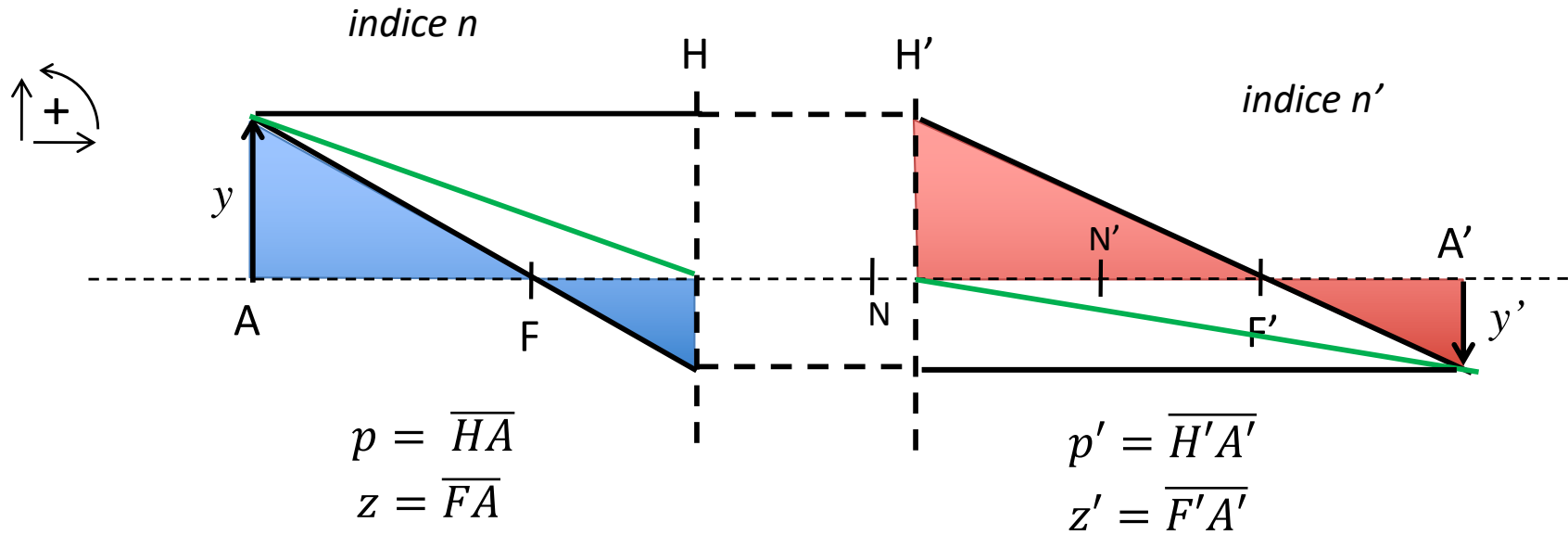
NON



OUI



Cela dépend de la position de l'objet



$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} \qquad z \times z' = f \times f'$$

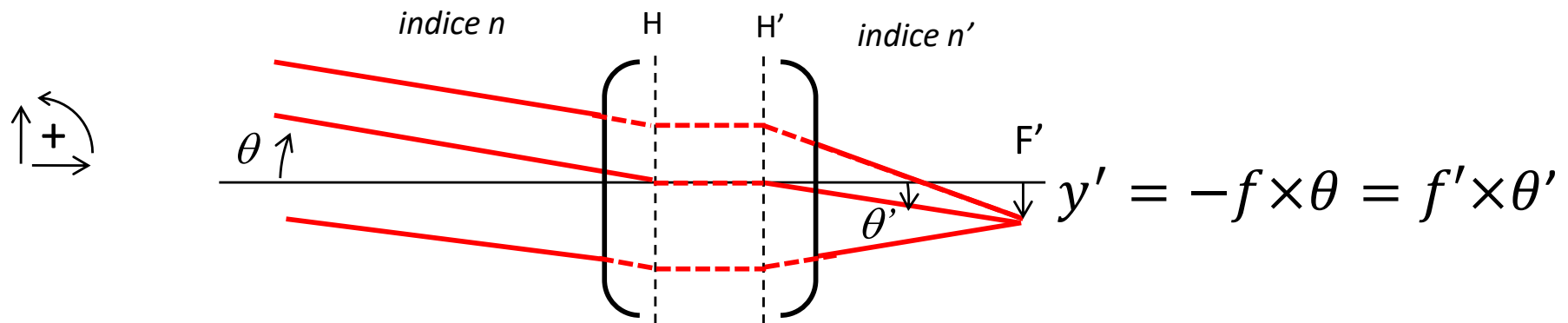
via les triangles semblables

$$g_y = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

via l'invariant de Lagrange $g_y = \frac{n}{n'} \times \frac{p'}{p}$

$$g_z = \frac{dp'}{dp} = \frac{n'}{n} (g_y)^2$$

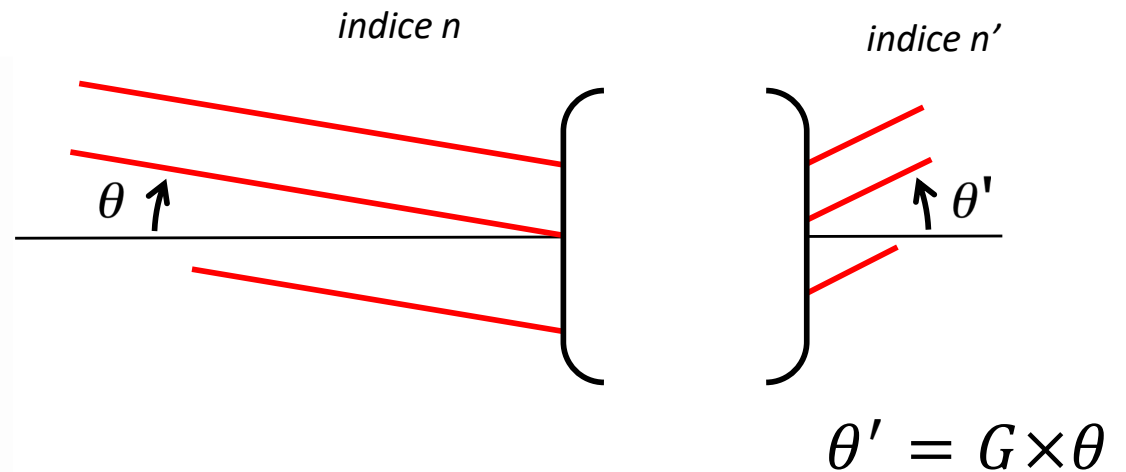
Dans un **système focal** lorsque l'objet est à l'infini l'image est située dans le plan focal et sa taille est uniquement définie par la focale (ou par sa puissance) et la taille angulaire de l'objet.



On appelle **puissance intrinsèque** (vergence, convergence)

$$P = -\frac{n}{f} = \frac{n'}{f'} \quad \text{s'exprime en m}^{-1} \text{ ou dioptrie}$$

Dans un **système afocal**, si l'objet est à l'infini alors l'image l'est aussi. La grandeur associée n'est pas le grandissement mais le **grossissement G** .

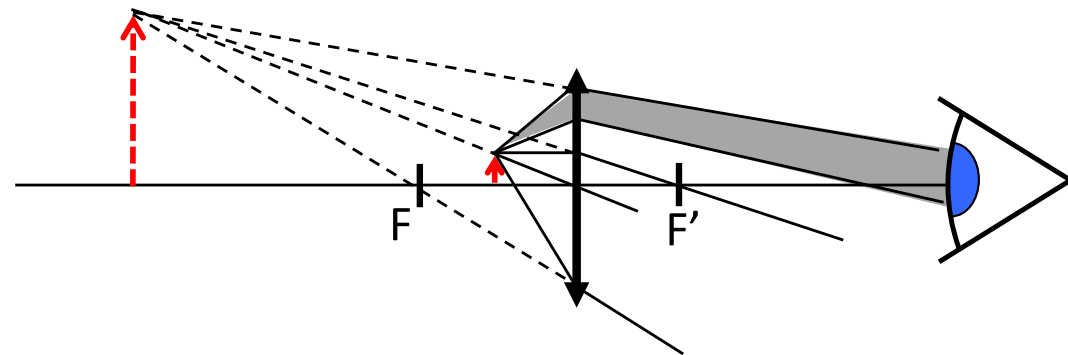


Le **grossissement commercial** est utilisé pour les systèmes qui fournissent une image à l'infini d'un objet proche tels les oculaires ou les loupes. Il est défini comme le rapport de l'angle sous lequel l'utilisateur voit l'image à l'infini à travers l'instrument et l'angle (fictif) de l'objet ramené à 250 mm de l'œil.

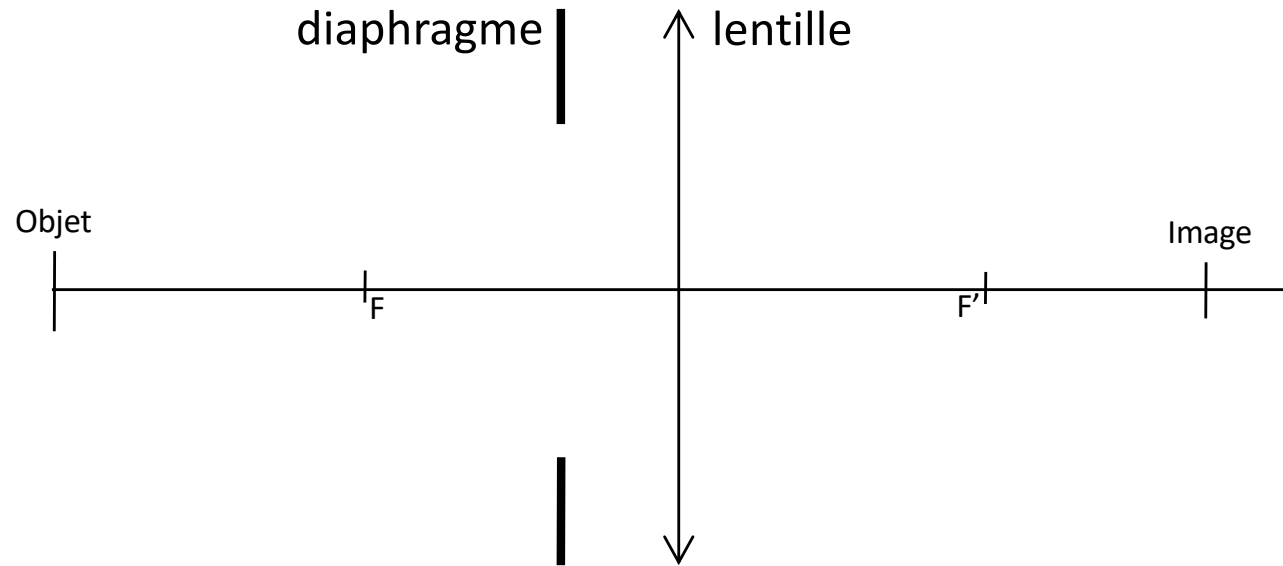


$$G_c = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{\frac{y}{0,25m}} = \frac{1}{4f'} = \frac{P}{4}$$

*si l'objet est en F
ou si l'œil est en F'*



Quel élément limite l'ouverture ?



le diaphragme

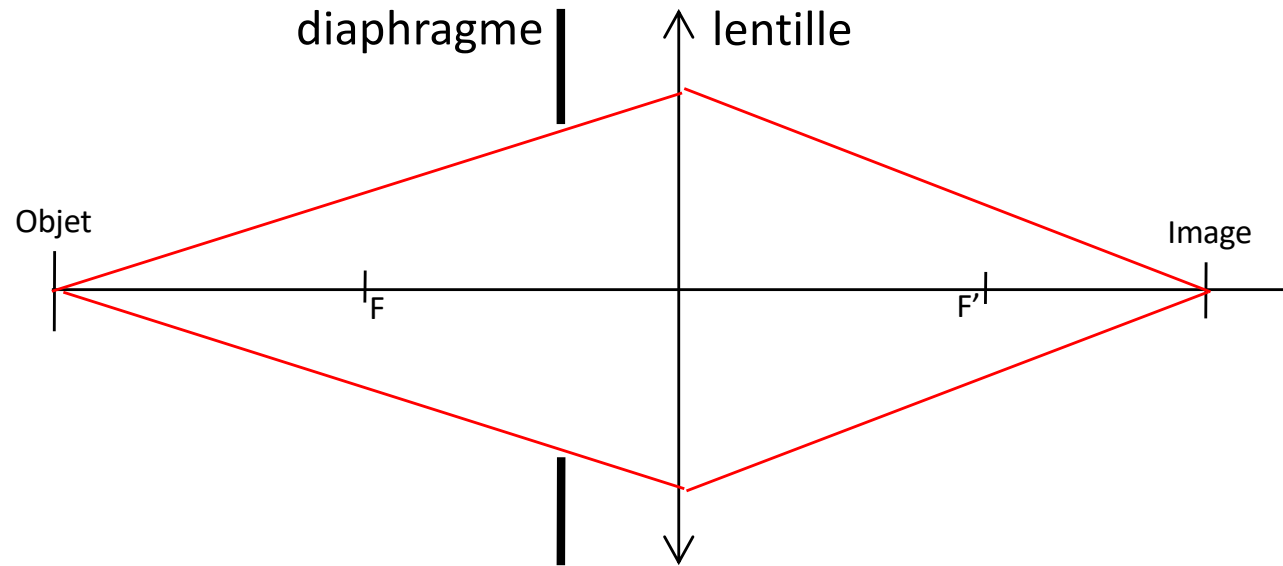


la lentille



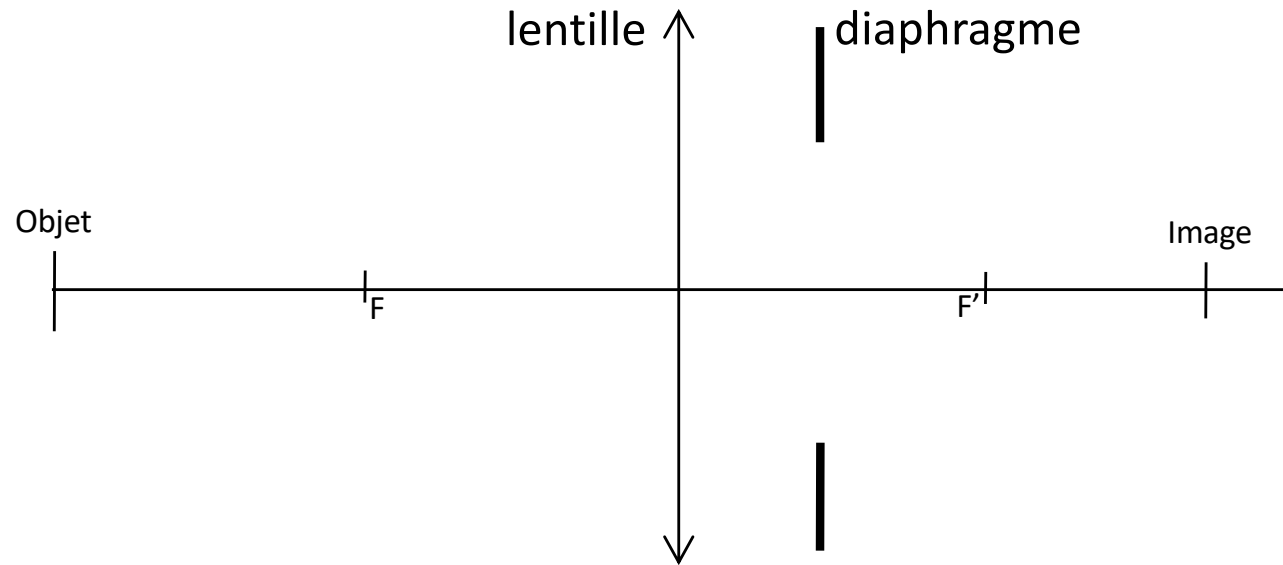
les deux

Quel élément limite l'ouverture ?



- ➡  le diaphragme
-  la lentille
-  les deux

Quel élément limite l'ouverture ?



le diaphragme

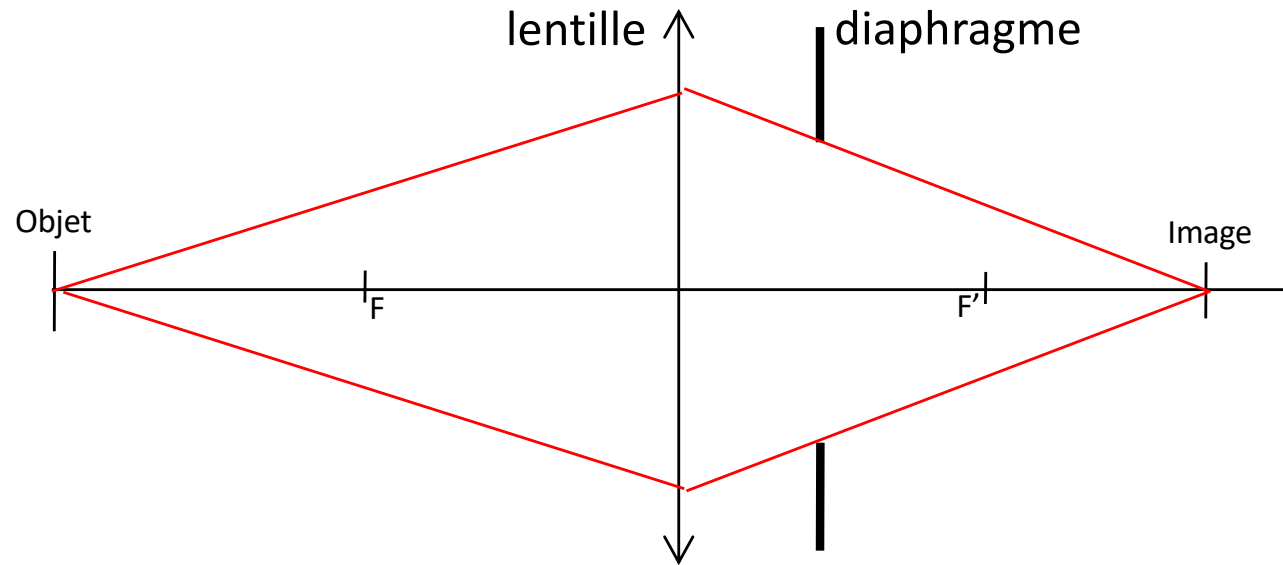


la lentille



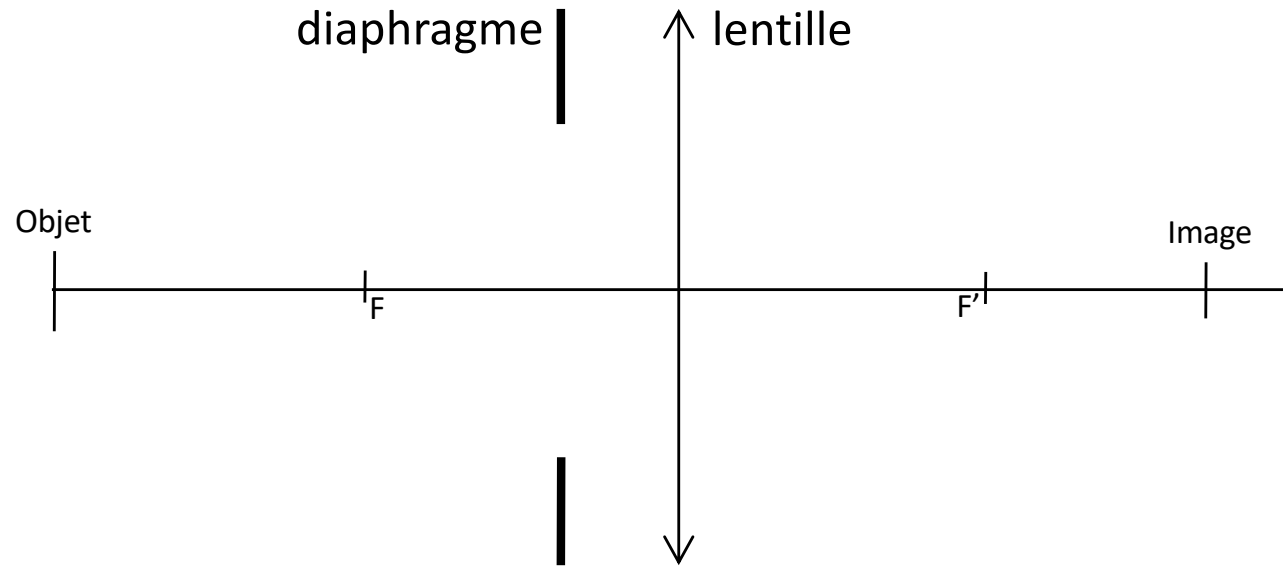
les deux

Quel élément limite l'ouverture ?



- ➡  le diaphragme
-  la lentille
-  les deux

Quel élément limite l'ouverture des rayons dans l'espace de sortie ?



le diaphragme

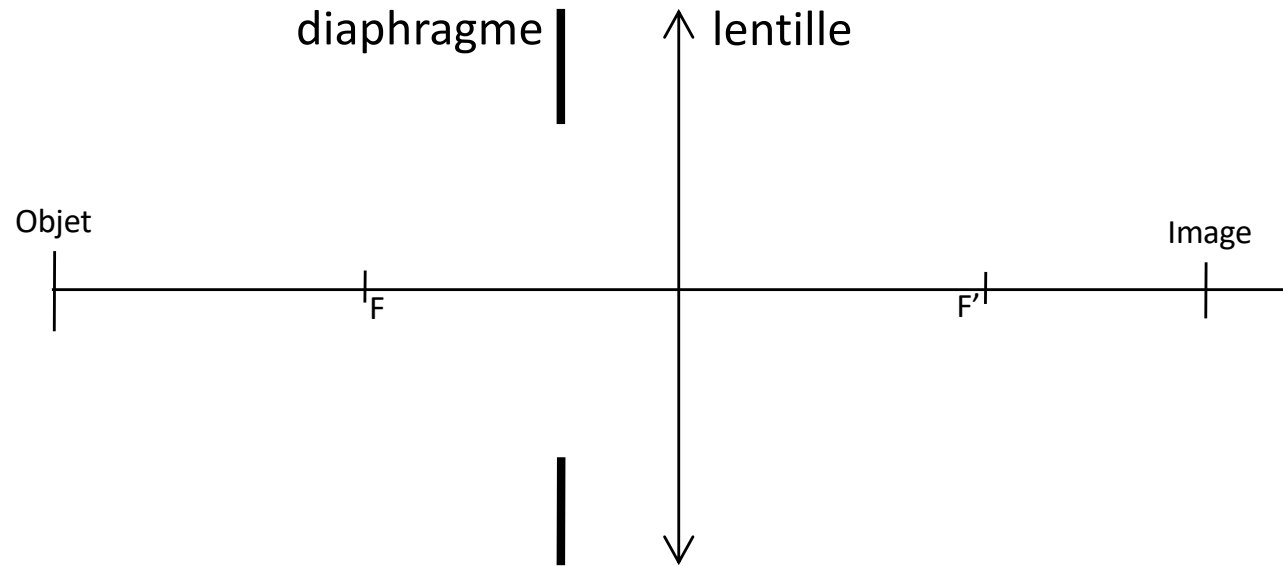


la lentille



l'image du diaphragme par la lentille

Quel élément limite l'ouverture des rayons dans l'espace de sortie ?



le diaphragme

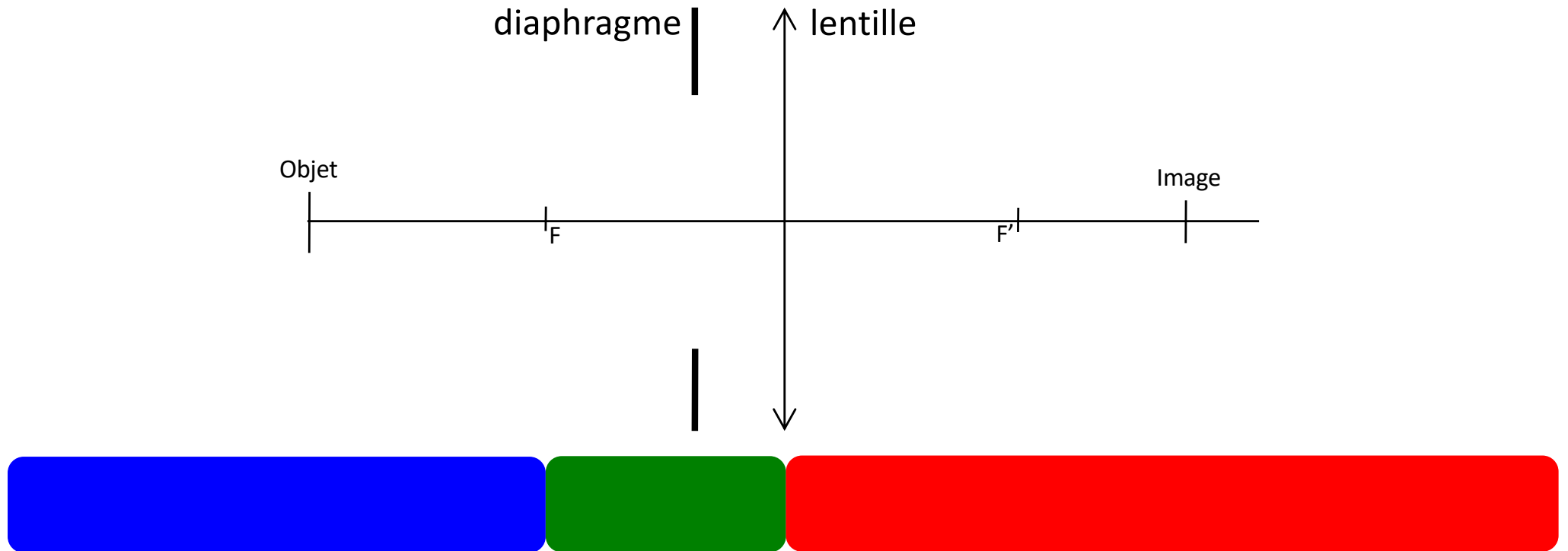


la lentille



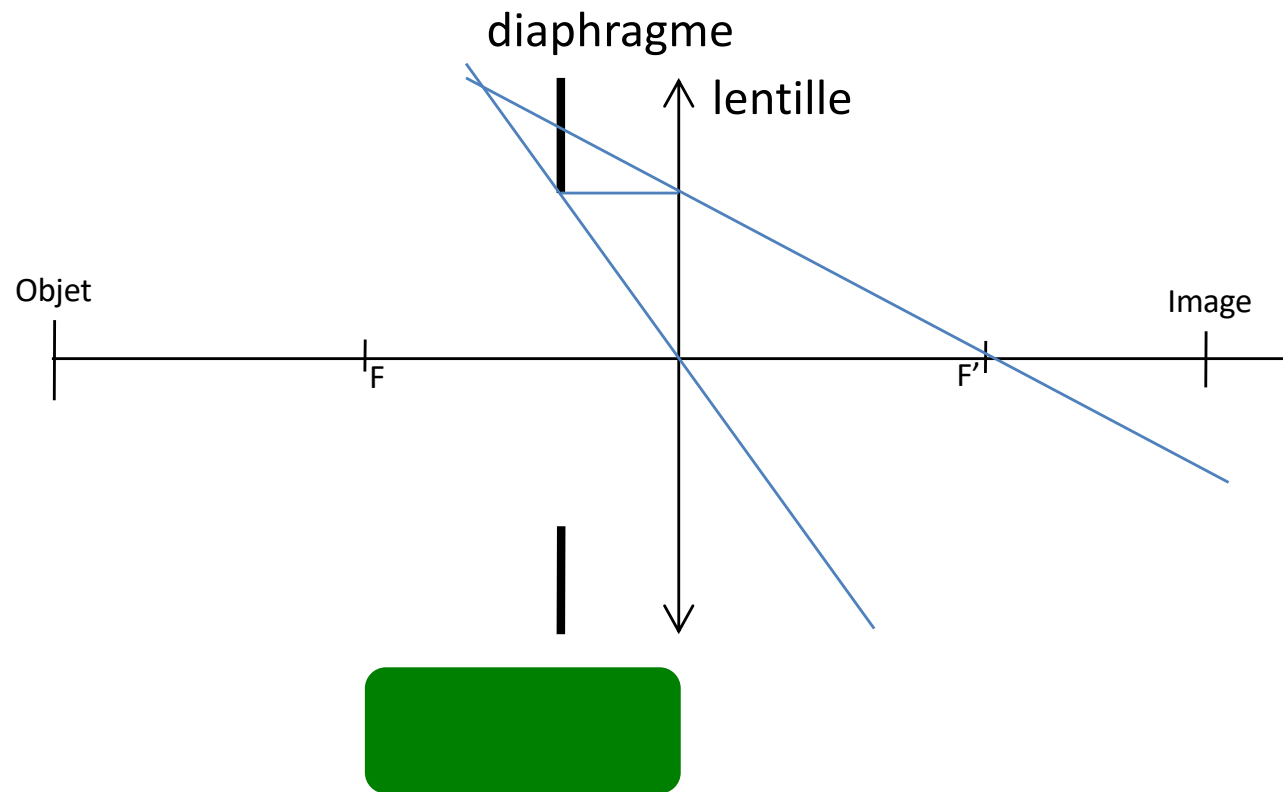
l'image du diaphragme par la lentille

Quel élément limite l'ouverture des rayons
dans l'espace de sortie ?

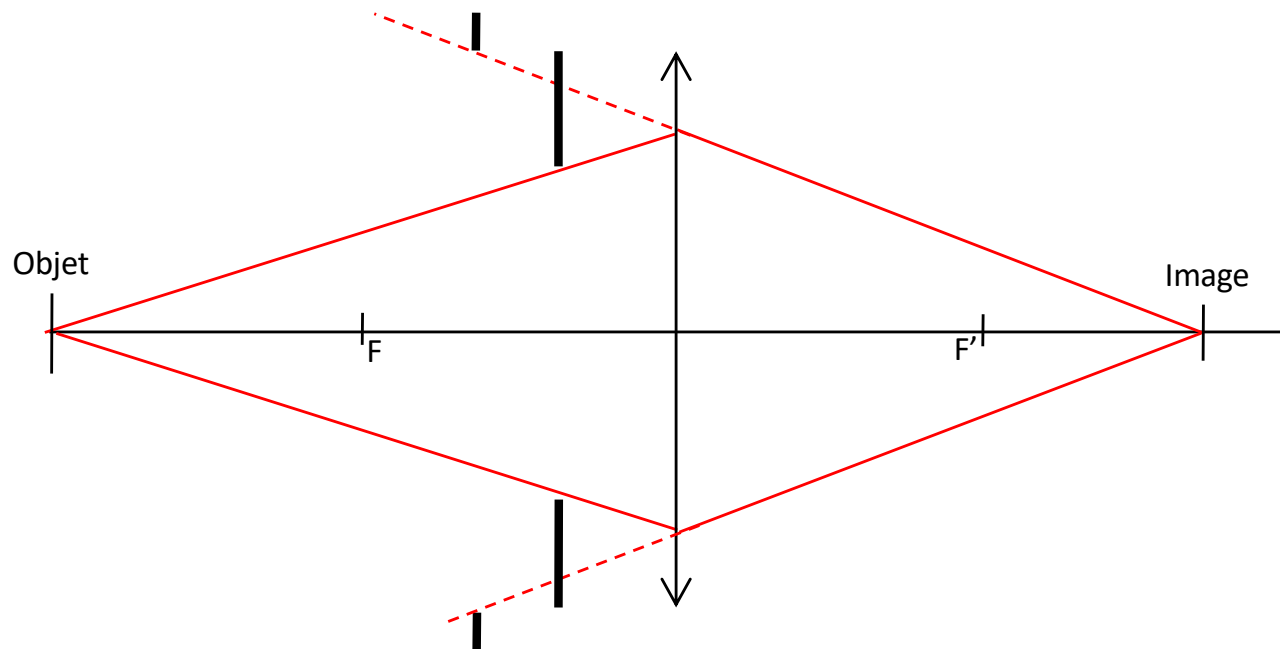


où est-elle ?

Quel élément limite l'ouverture des rayons
dans l'espace de sortie ?



où est-elle ?



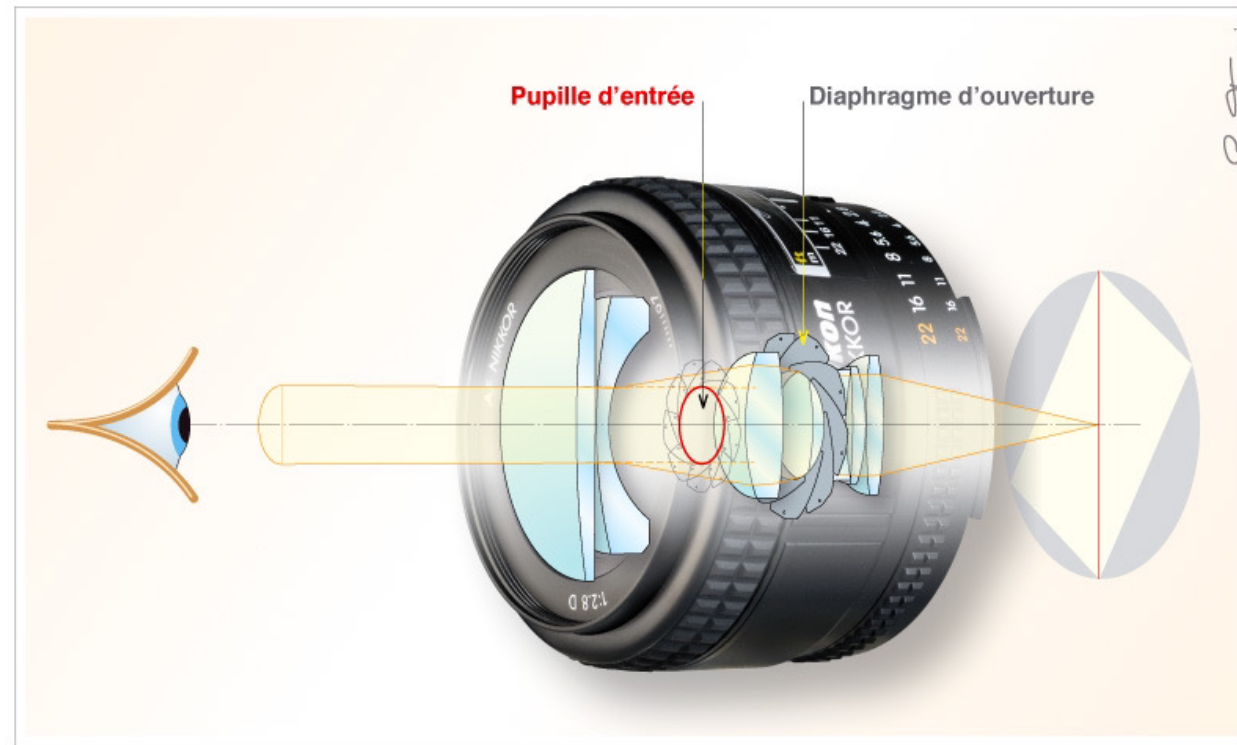
le diaphragme est la **PUPILLE** d'entrée

Son conjugué dans l'espace de sortie est la pupille de sortie

cours 6

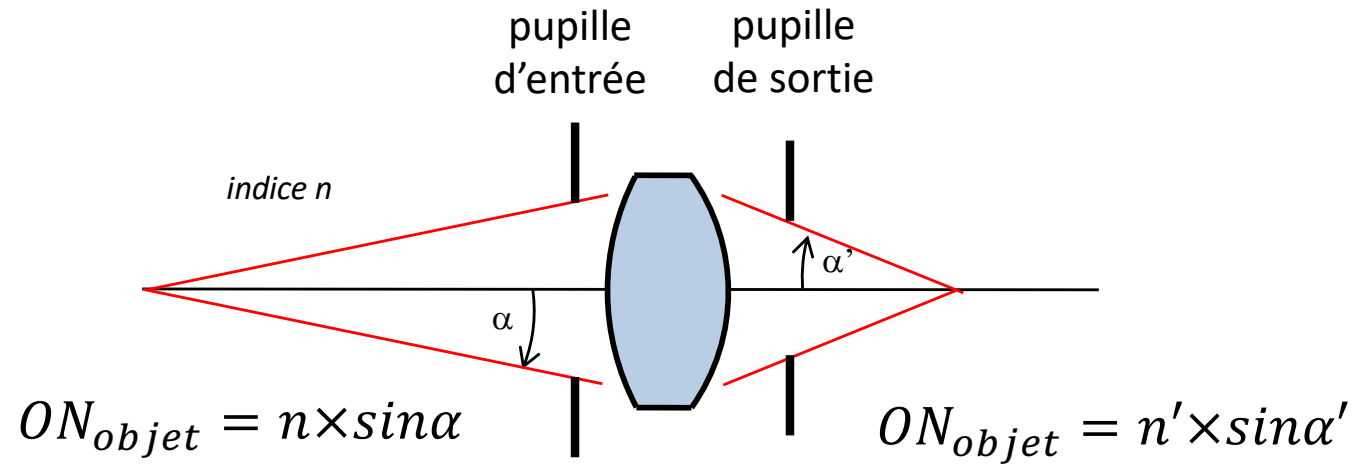
tracés pupilles

(fichier à part)



Lorsque vous regardez le diaphragme d'un objectif photo par sa face d'entrée, c'est « regarder » la pupille d'entrée.

Lorsque vous regardez le diaphragme d'un objectif photo par sa face de sortie, c'est « regarder » la pupille de sortie.

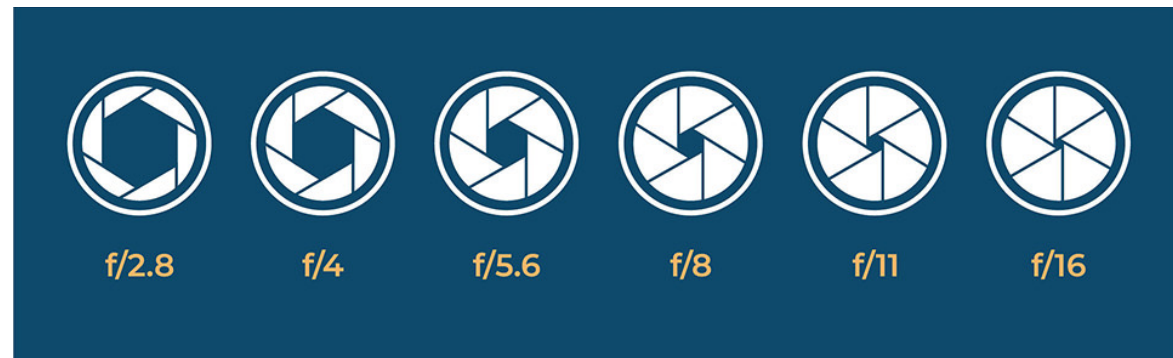


Dans un objectif de microscope la conjugaison objet-image est optimisée pour être unique. **L'ouverture numérique** objet est fixe et est donc inscrite sur le corps de l'objectif.

ici, $ON_{objet} = 0,1$



$$N = \frac{\text{distance focale}}{\text{diamètre pupille d'entrée}}$$



cours 7

Soit la base de l'espace H_1 $\{|+\rangle_1, |-\rangle_1\}$ et la base de l'espace H_2 $\{|+\rangle_2, |-\rangle_2\}$

Quel état $|\psi\rangle$ est état intriqué ?


$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+\rangle_1|-\rangle_2 - |-\rangle_1|+\rangle_2)$$


$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+\rangle_1|-\rangle_2 - |-\rangle_1|-\rangle_2)$$


$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+\rangle_1|+\rangle_2 - |+\rangle_1|-\rangle_2)$$

Soit la base de l'espace H_1 $\{|+\rangle_1, |-\rangle_1\}$ et la base de l'espace H_2 $\{|+\rangle_2, |-\rangle_2\}$

Quel état $|\psi\rangle$ est état intriqué ?

  $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_1 |-\rangle_2 - |-\rangle_1 |+\rangle_2)$

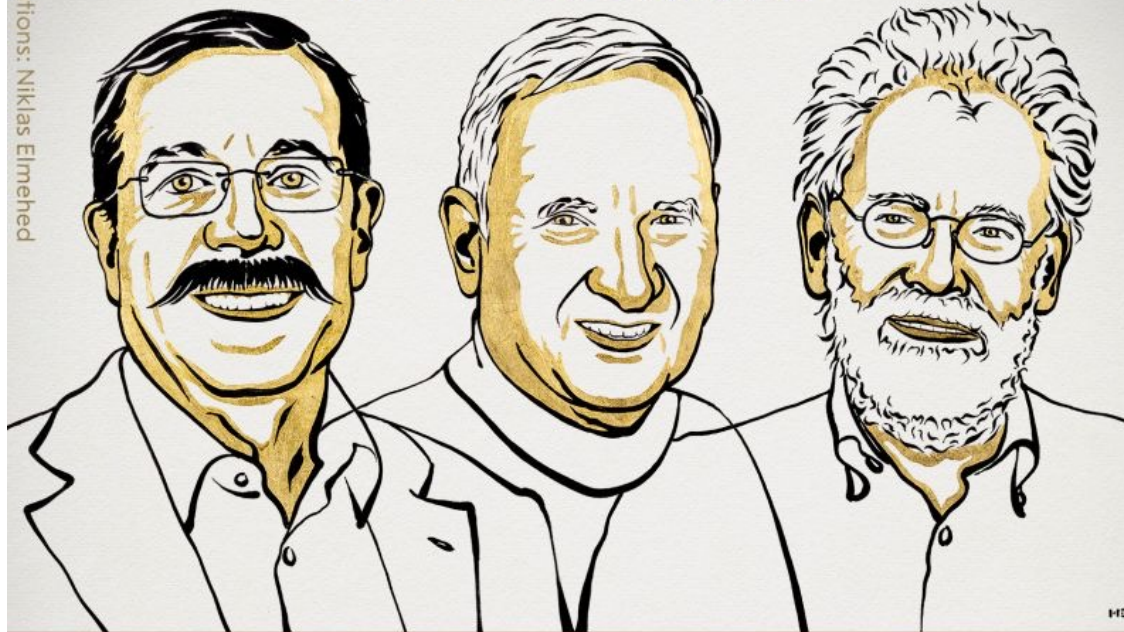
 $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_1 |-\rangle_2 - |-\rangle_1 |-\rangle_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_1 - |-\rangle_1) \otimes |-\rangle_2$

états séparables

 $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_1 |+\rangle_2 - |+\rangle_1 |-\rangle_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_2 - |-\rangle_2) \otimes |+\rangle_1$

Illustrations: Niklas Elmehed

THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2022



Alain
Aspect

John F.
Clauser

Anton
Zeilinger

"for experiments with entangled photons,
establishing the violation of Bell inequalities
and pioneering quantum information science"

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

Où est la pupille d'entrée ?



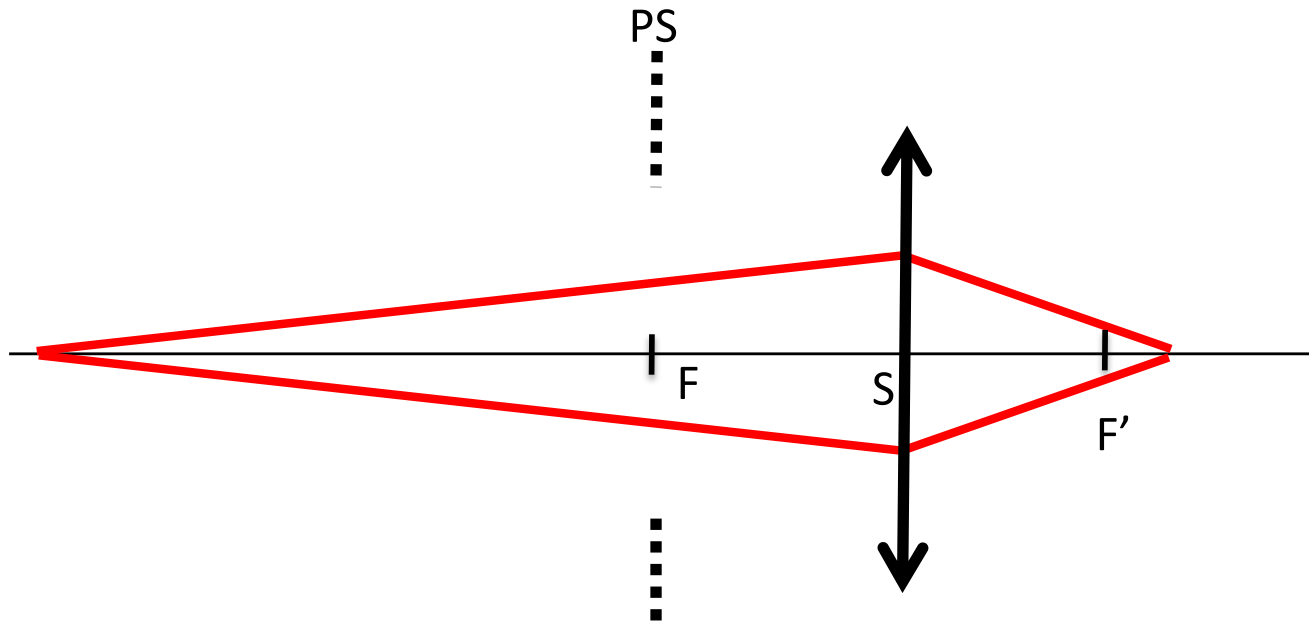
à l'infini



en F'



entre F et S



Où est la pupille d'entrée ?



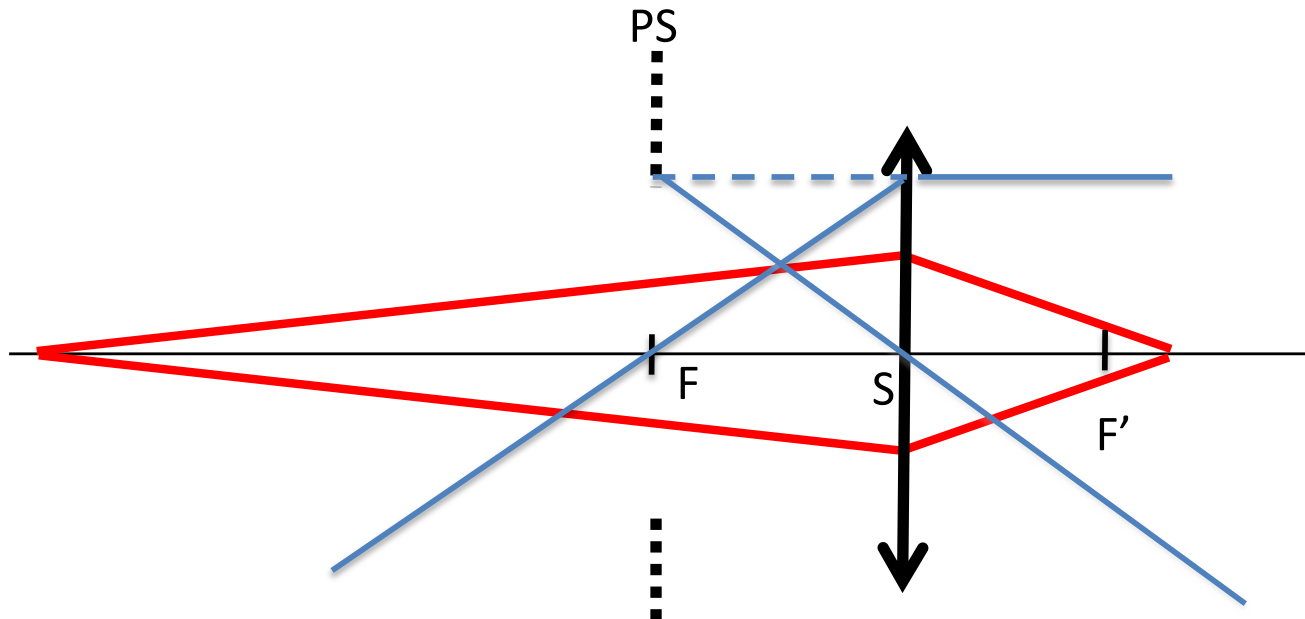
à l'infini



en F'



entre F et S



Si on place l'objet au foyer objet de la 1^{ère} lentille de ce système afocal, quelle lentille est le diaphragme d'ouverture ?



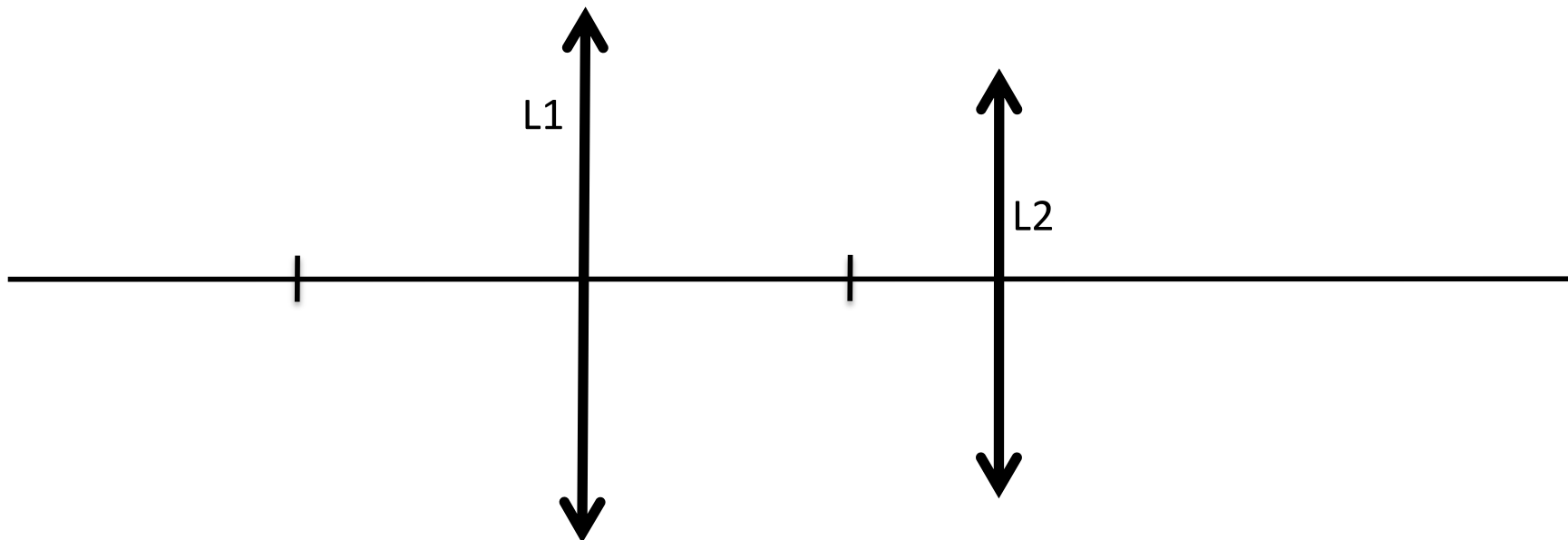
L1



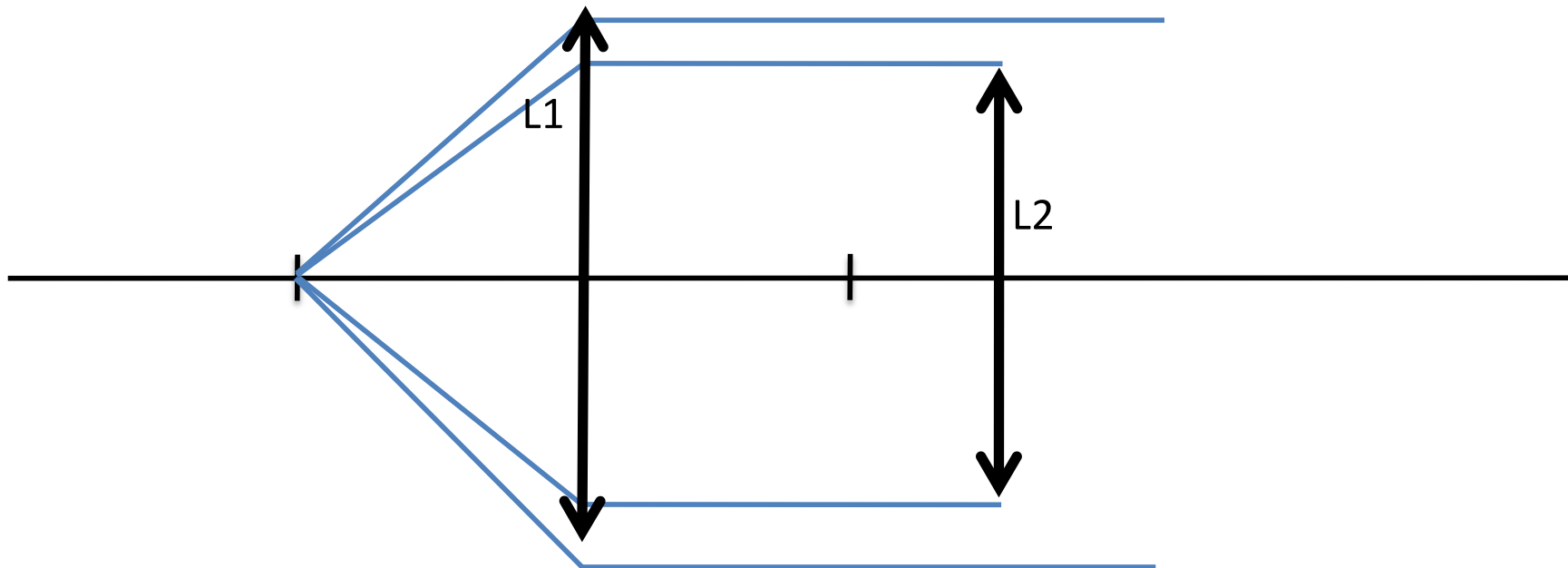
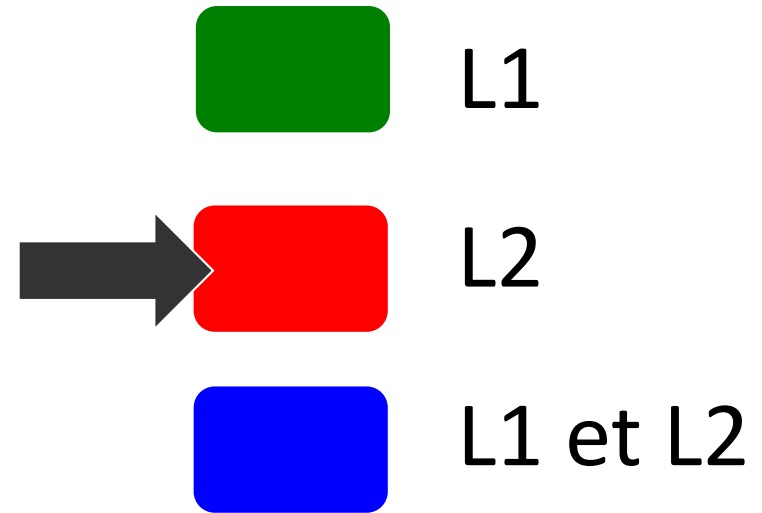
L2



L1 et L2



Si on place l'objet au foyer objet de la 1^{ère} lentille de ce système afocal, quelle lentille est le diaphragme d'ouverture ?



Si on place maintenant l'objet à l'infini, quelle lentille est le diaphragme d'ouverture ?



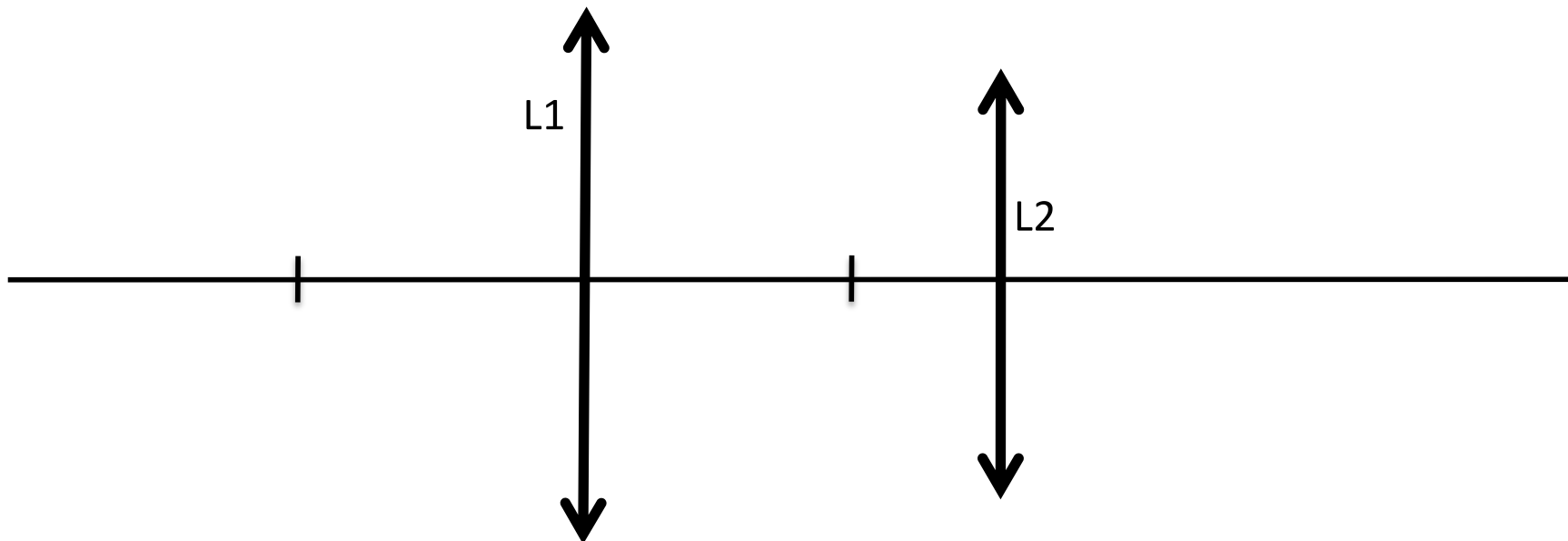
L1



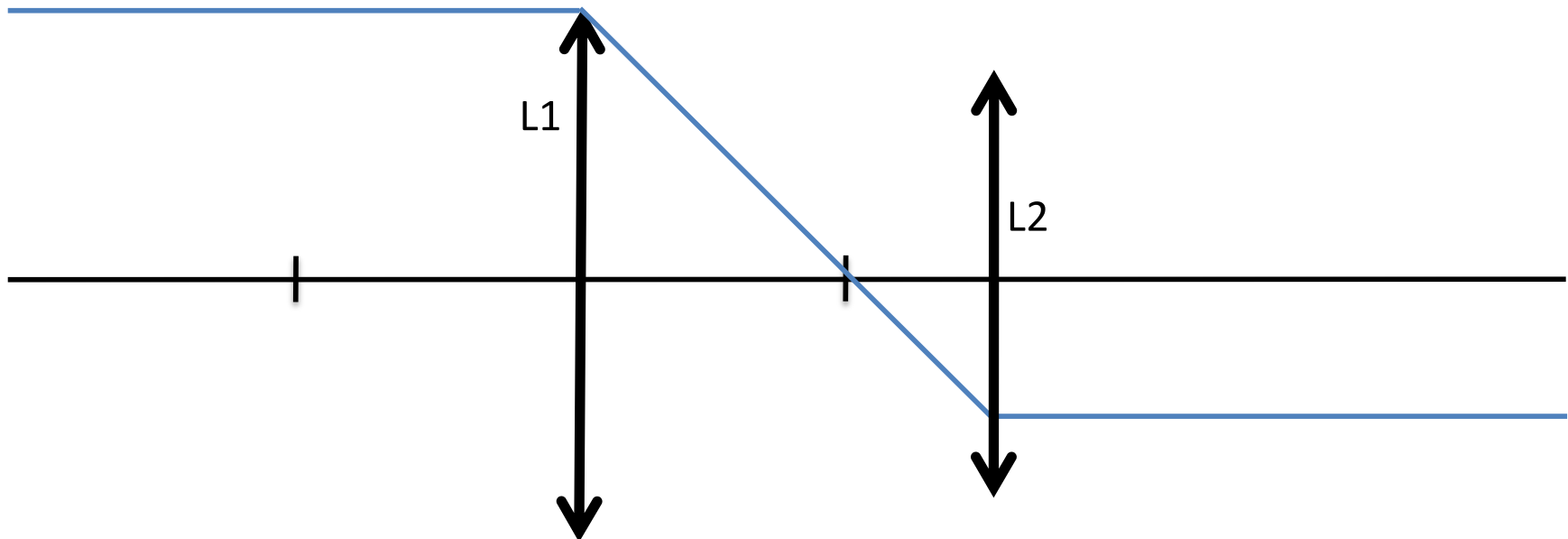
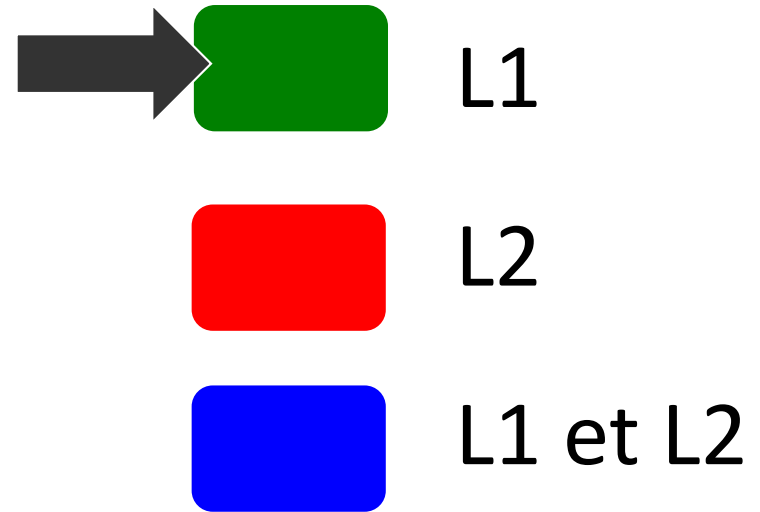
L2

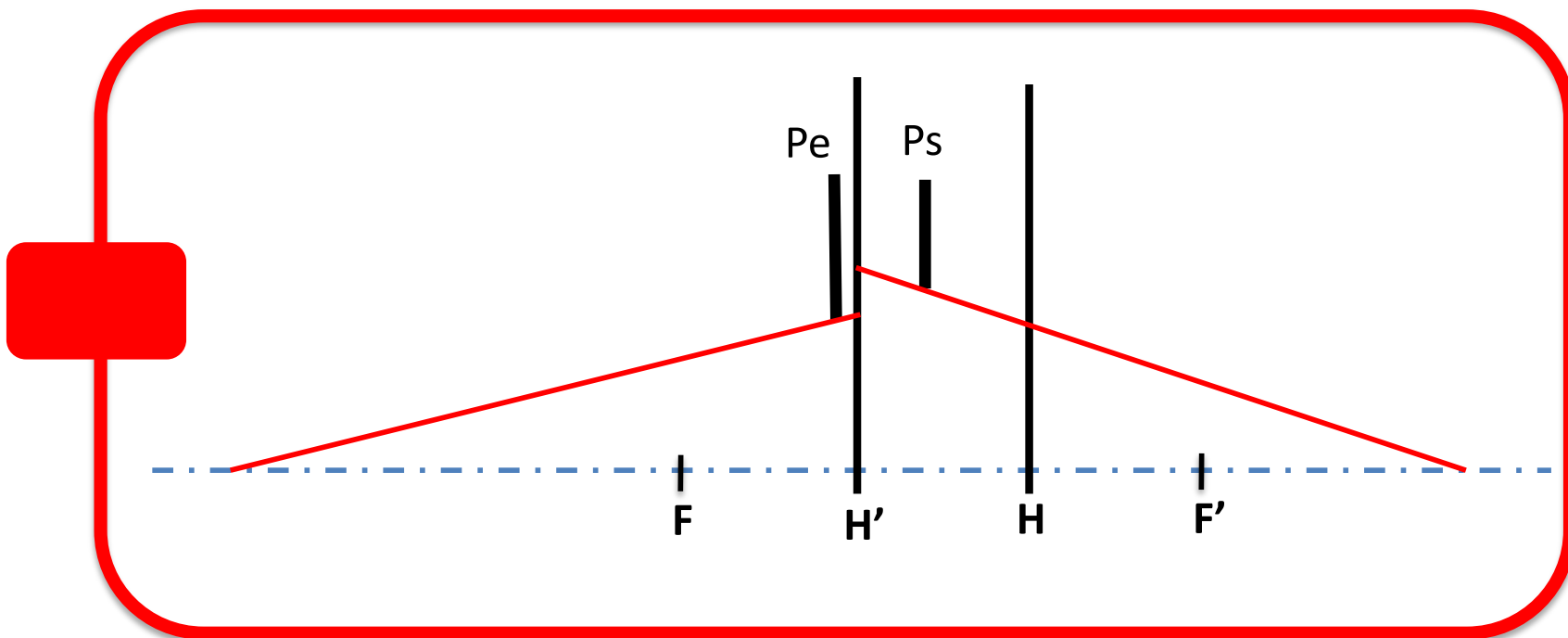


L1 et L2

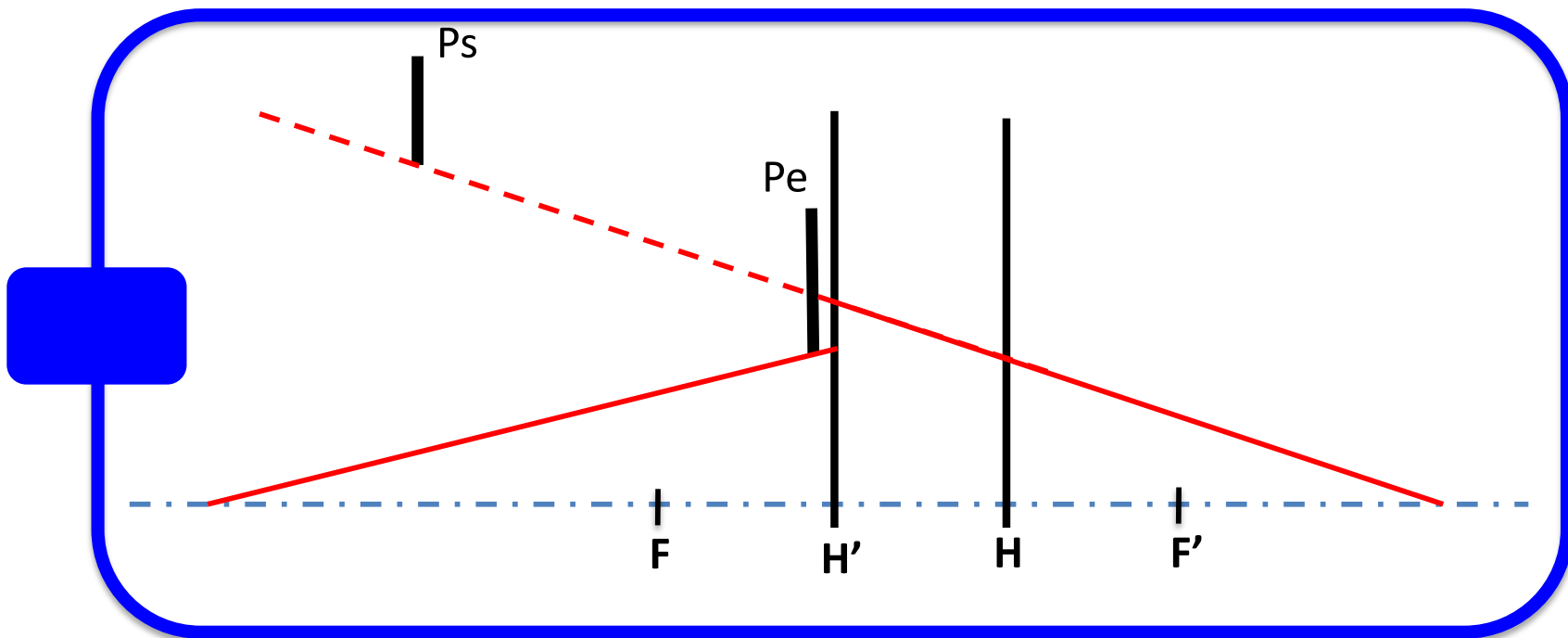


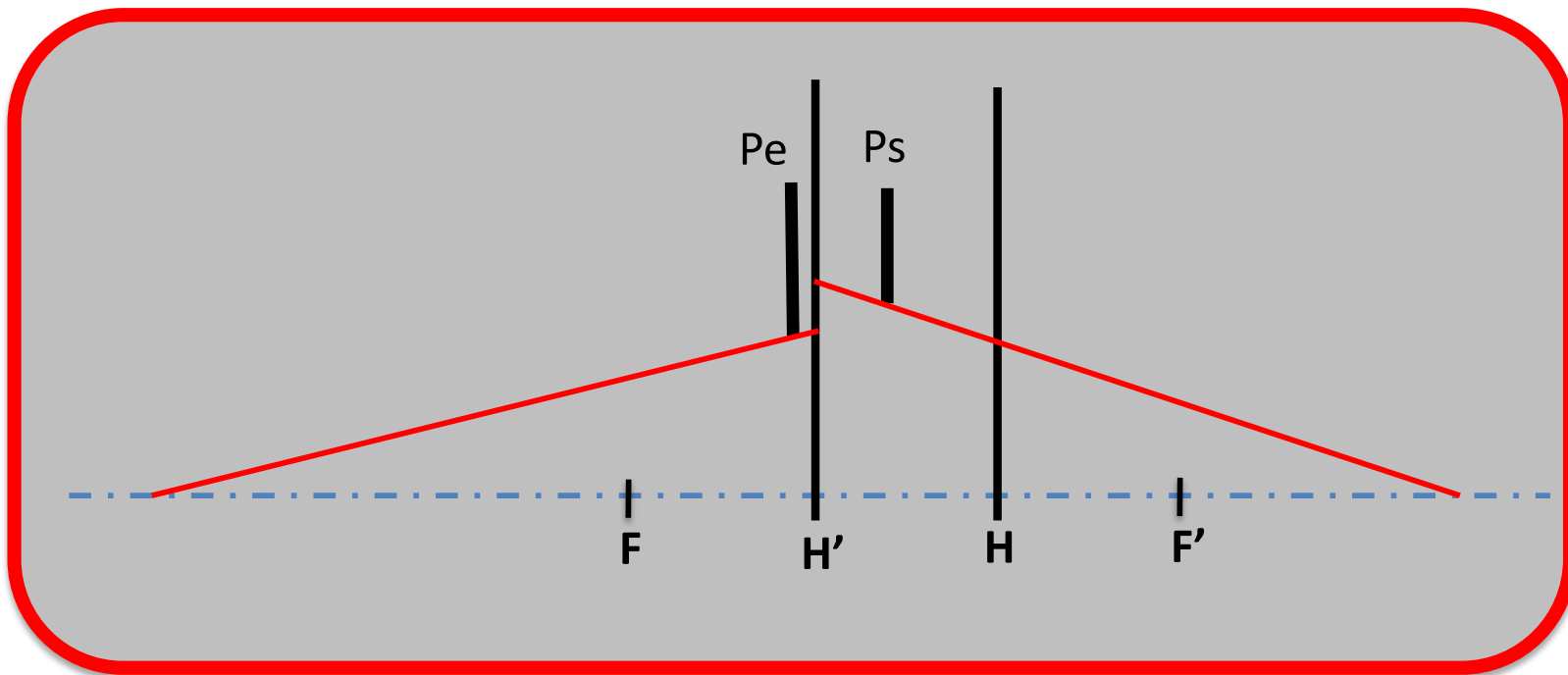
Si on place maintenant l'objet à l'infini, quelle lentille est le diaphragme d'ouverture ?



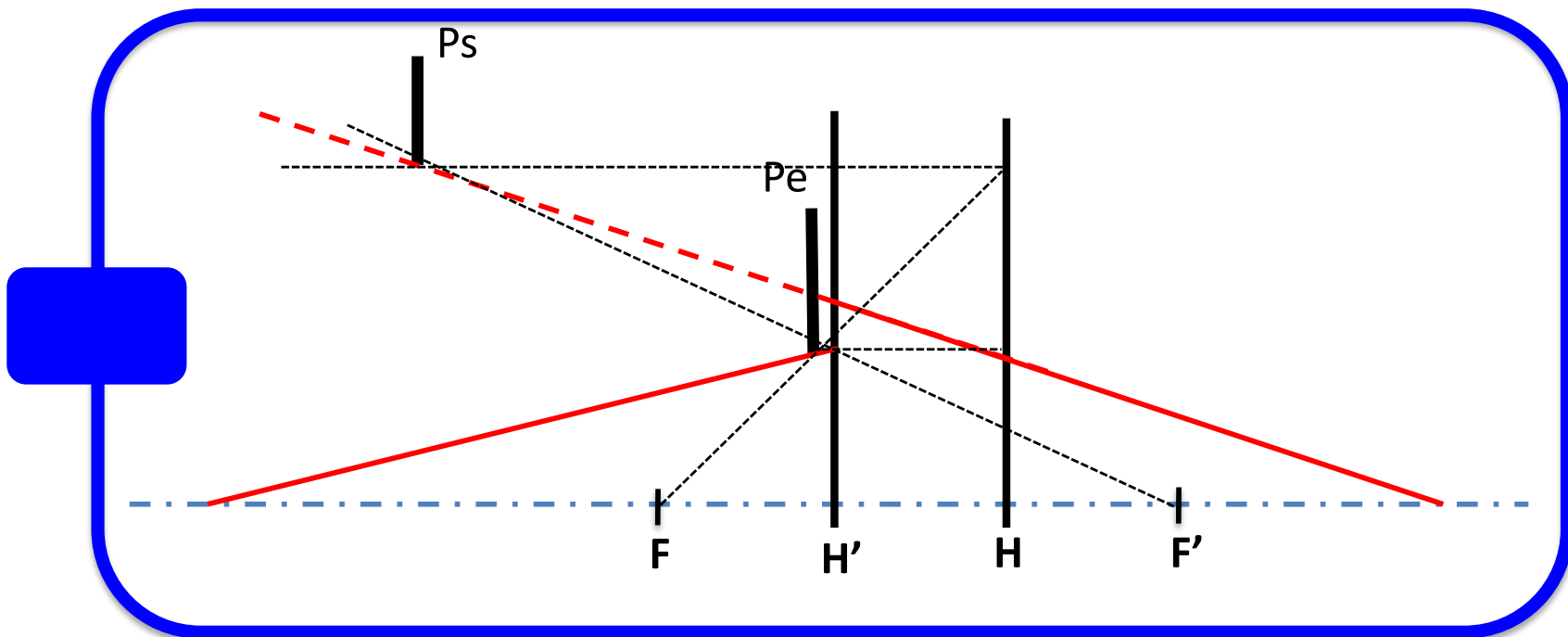


Quel schéma est vrai ?





Quel schéma est vrai ?



Une lentille mince, de diamètre 10 mm, fait l'image d'un objet avec un grandissement de -5.

Quel est le diamètre de la pupille de sortie ?



2 mm



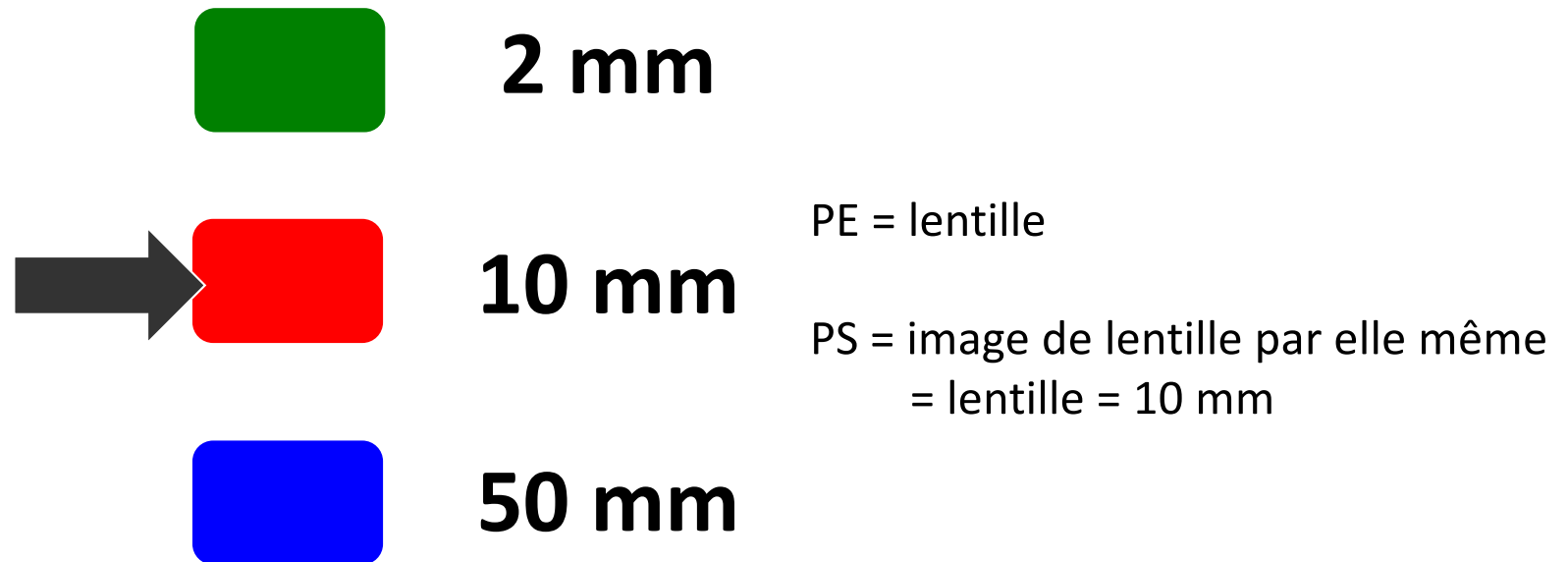
10 mm



50 mm

Une lentille mince, de taille 10 mm, fait l'image d'un objet avec un grandissement de -5.

Quel est le diamètre de la pupille de sortie ?



Une lentille mince convergente de focale 25 cm conjugue un objet de taille 10 cm en une image de taille 1 cm.

La pupille d'entrée est à 50 cm en avant de la lentille et son diamètre est de 1 cm.

Quelle est la taille de la pupille de sortie ?



1 mm



10 cm

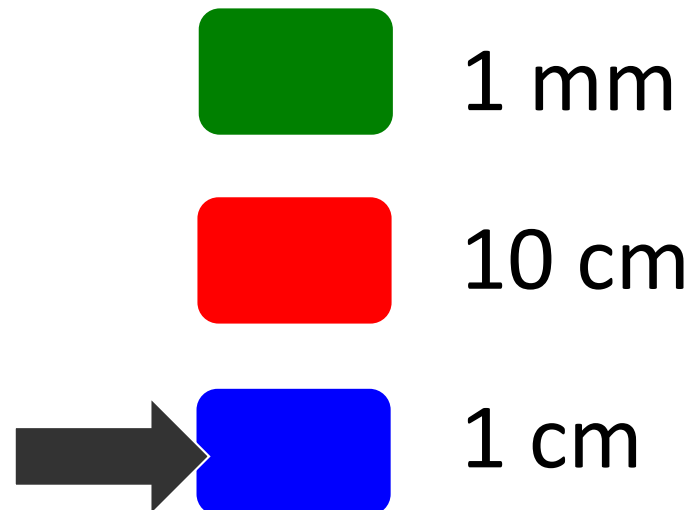


1 cm

Une lentille mince convergente de focale 25 cm conjugue un objet de taille 10 cm en une image de taille 1 cm.

La pupille d'entrée est à 50 cm en avant de la lentille et son diamètre est de 1 cm.

Quelle est la taille de la pupille de sortie ?



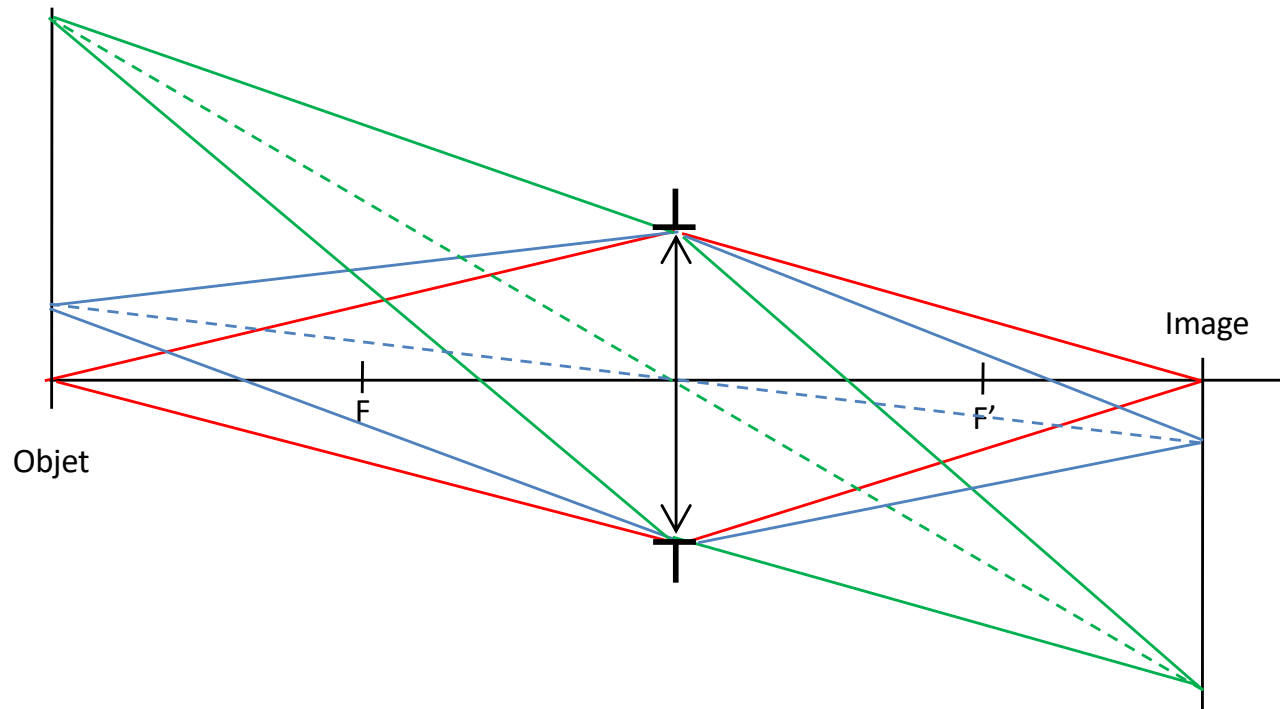
Pupille

Diaphragme qui limite l'ouverture des rayons traversant l'instrument **pour un point objet sur l'axe.**

Lucarnes

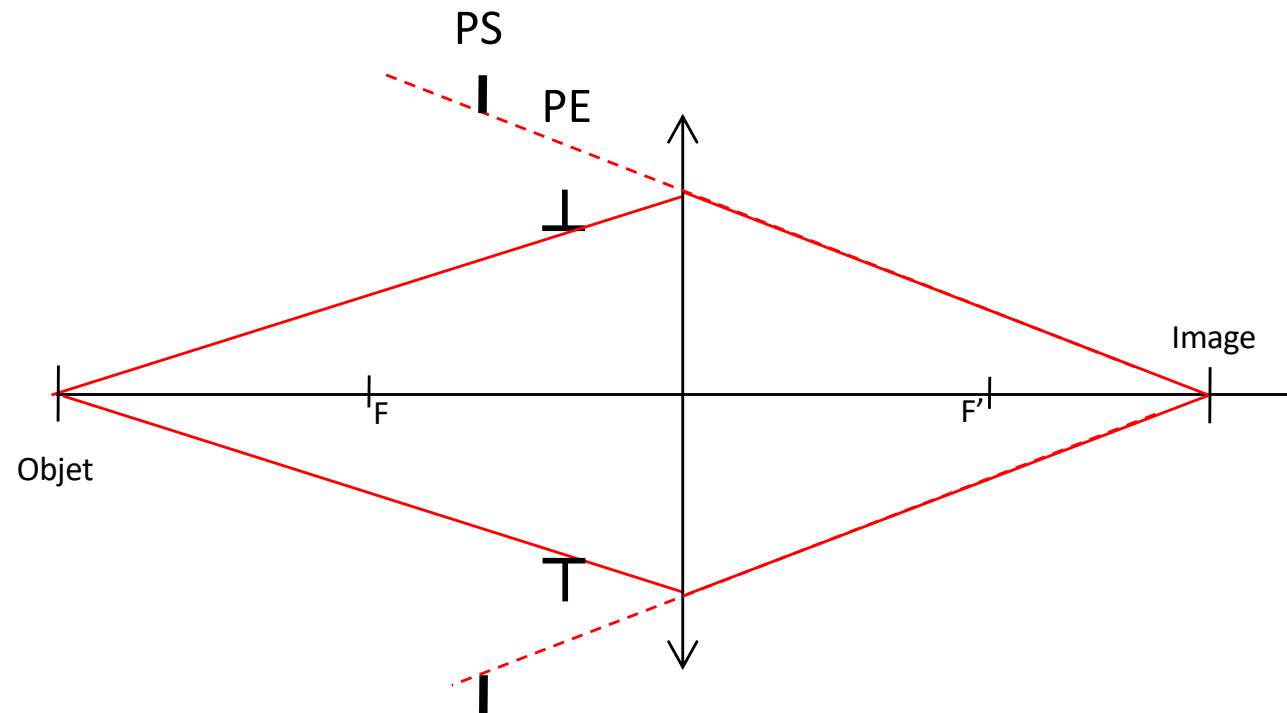
Autres diaphragmes qui vont en général limiter l'ouverture des rayons traversant l'instrument **pour un point objet hors d'axe (dans le champ)**. Ces lucarnes vont limiter transversalement le champ de vue du système optique.

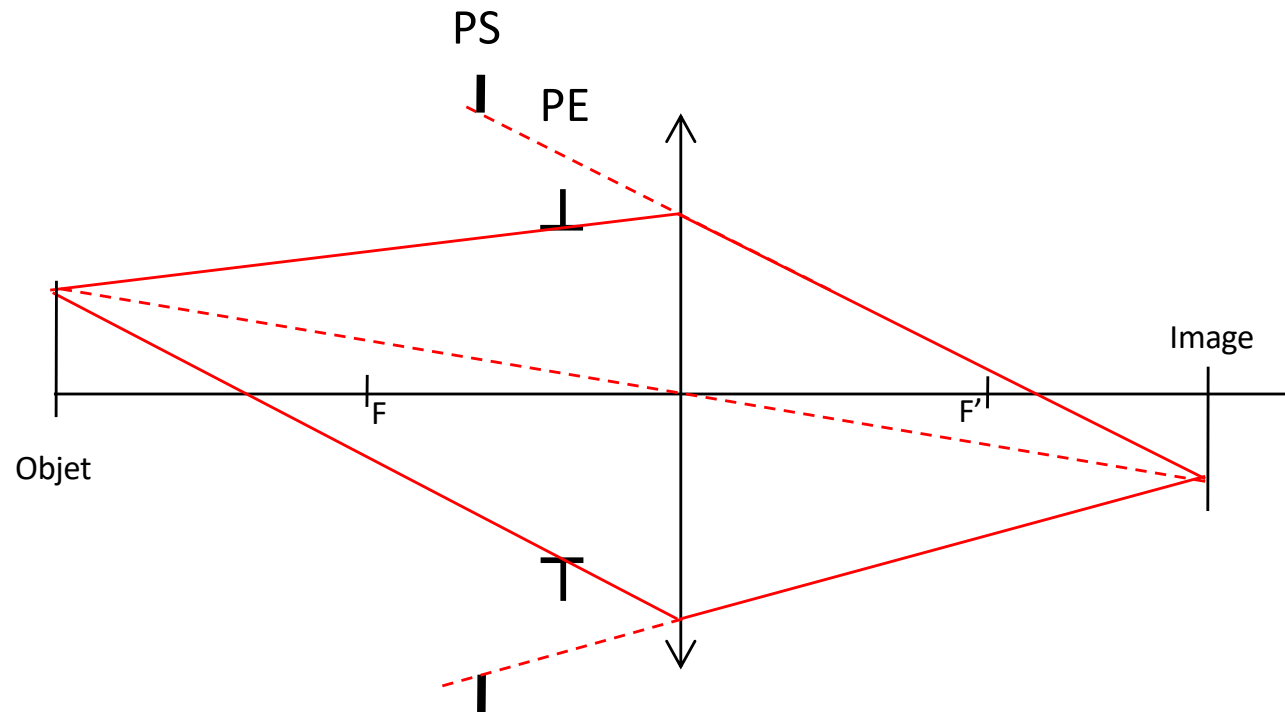
Exemple : lentille mince

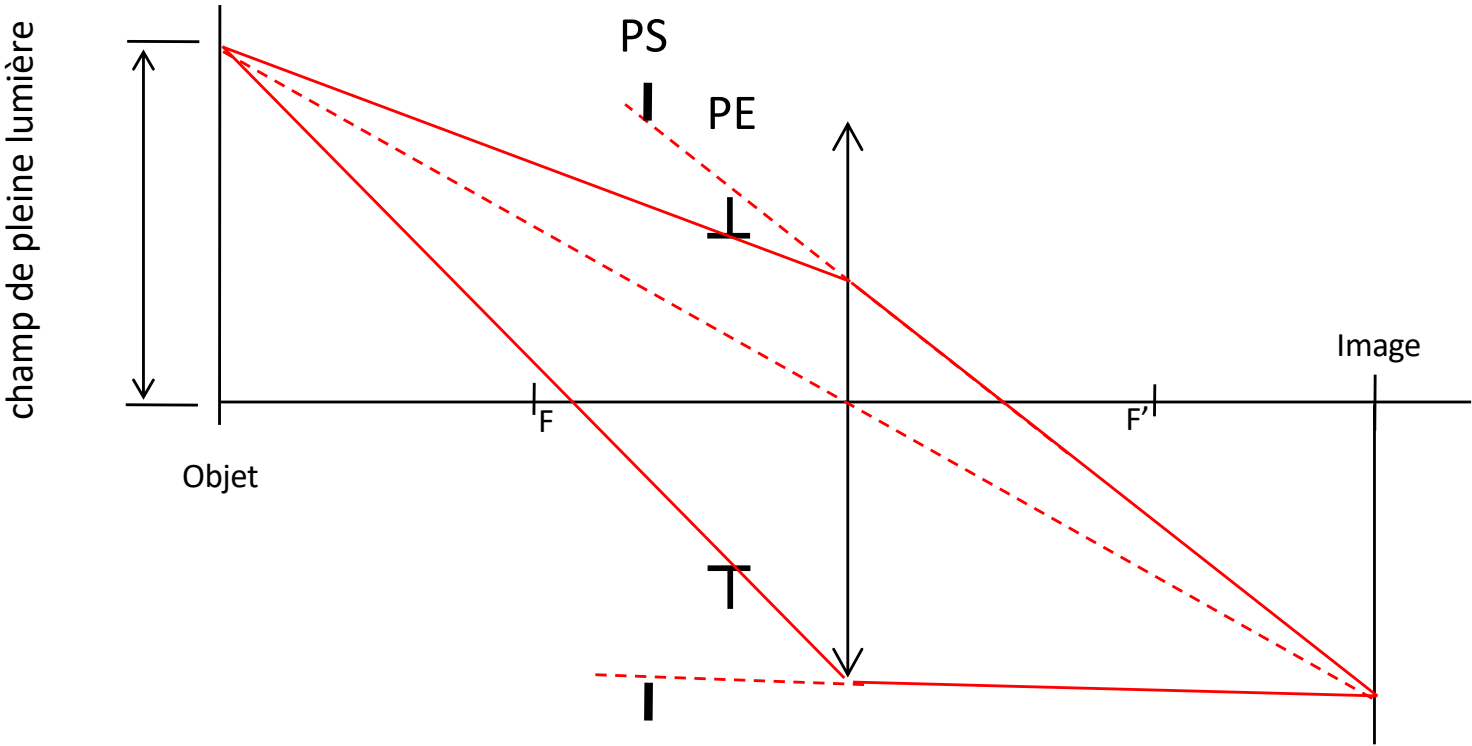


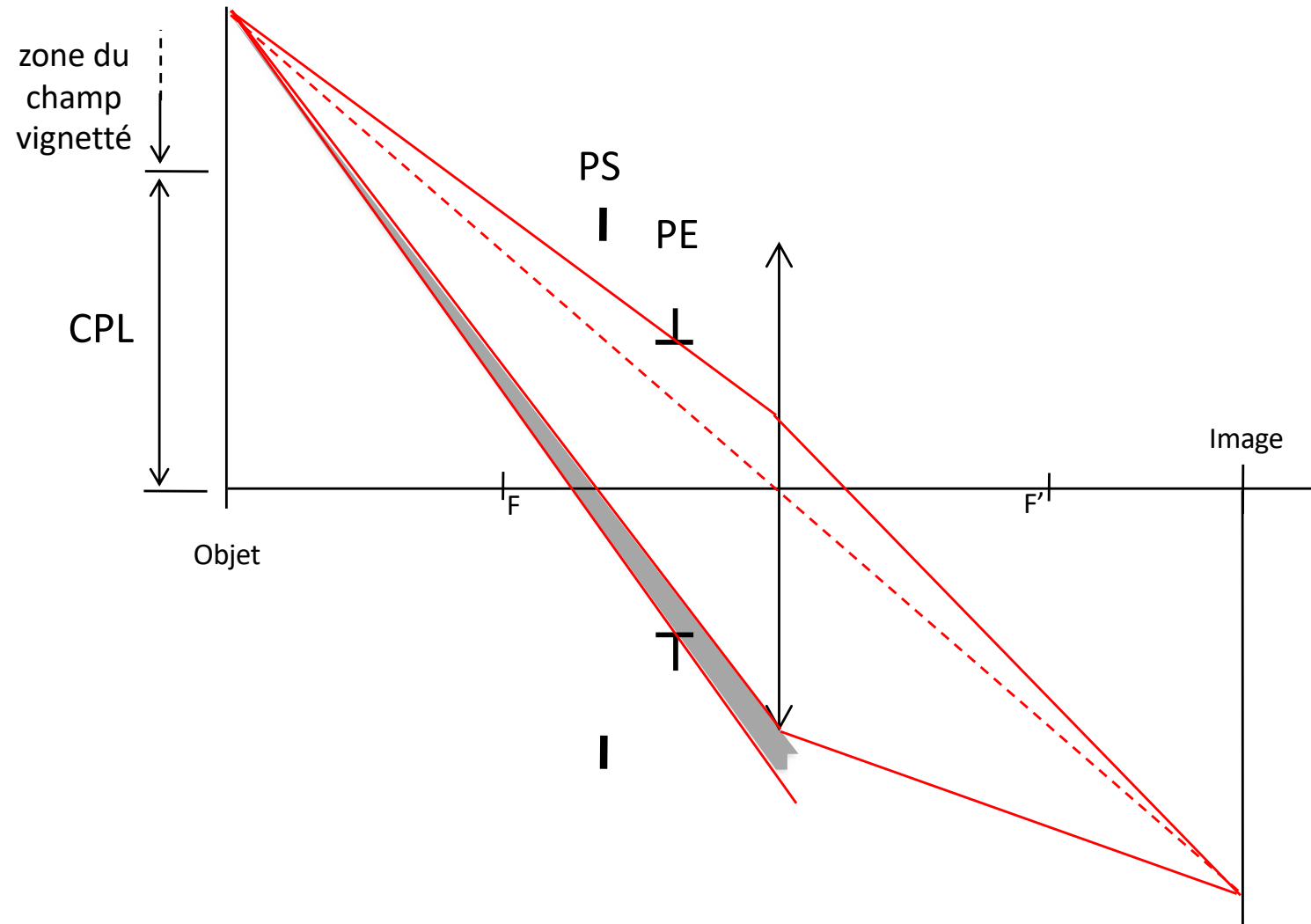
Le champ d'une lentille mince n'est en principe pas limité. Il y aura toujours un rayon provenant de l'objet et passant la pupille qui arrivera dans le plan image.

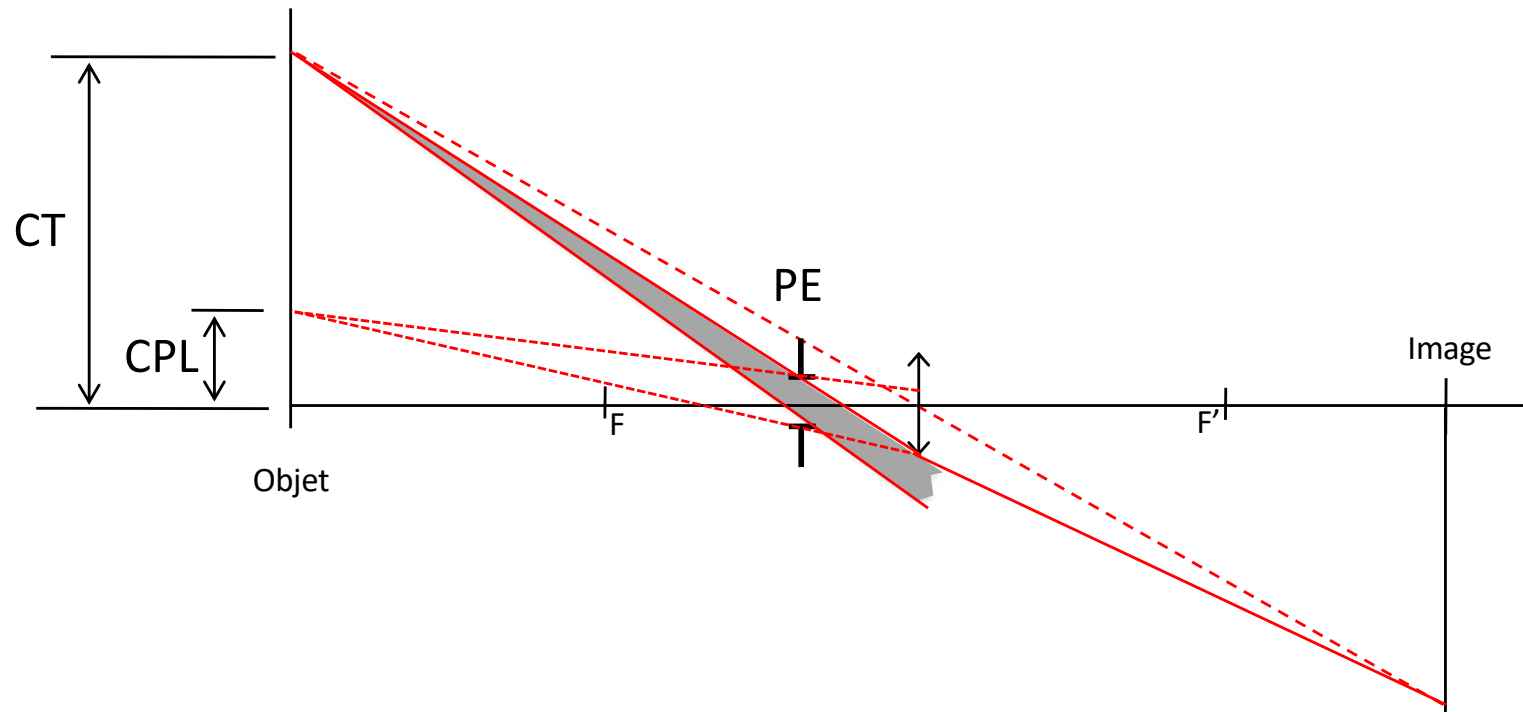
En revanche si le champ « sort » des conditions de Gauss la qualité de l'image sera très vite dégradée donc inutilisable !

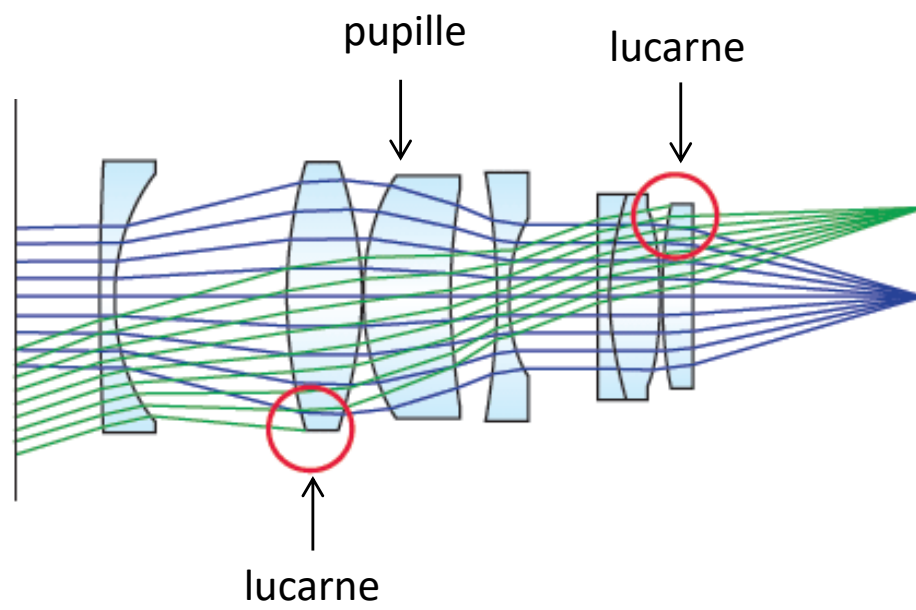












vignettage en bord d'image



cours 8

On considère une lentille mince convergente
et un capteur de taille finie placé dans le plan image



le champ est limité par la taille de la lentille



le champ est limité par la taille du capteur



le champ est infini

On considère une lentille mince convergente
et un capteur de taille finie placé dans le plan image



le champ est limité par la taille de la lentille



le champ est limité par la taille du capteur

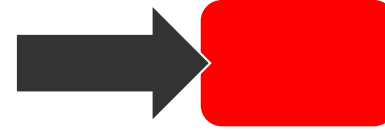


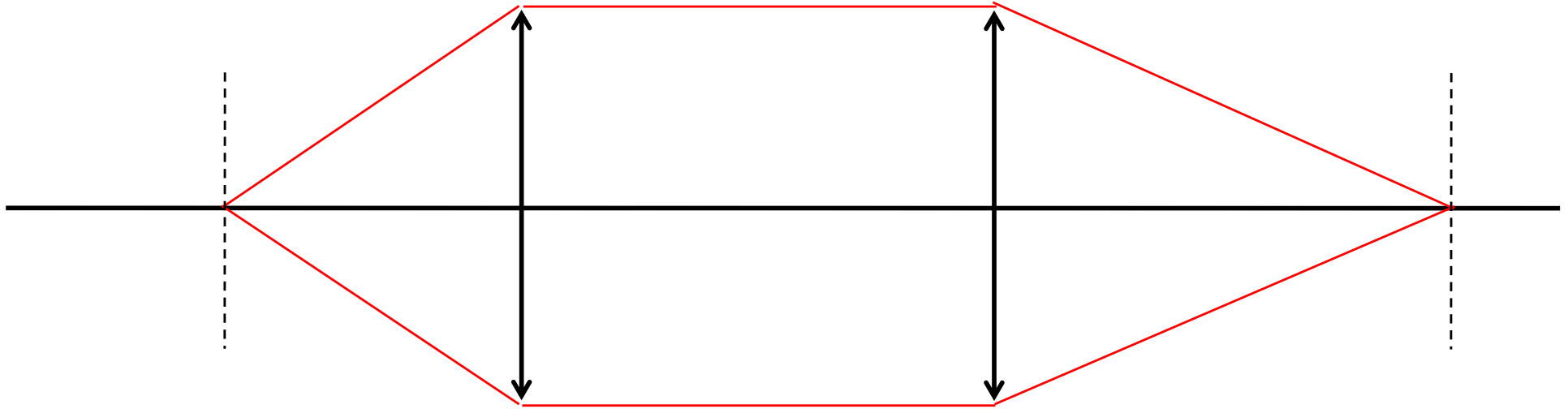
le champ est infini

Quelle photo a été prise avec la plus grande focale ?
(capteur identique)



Quelle photo a été prise avec la plus grande focale ?
(capteur identique)





Quelle affirmation est vraie dans ce système ?



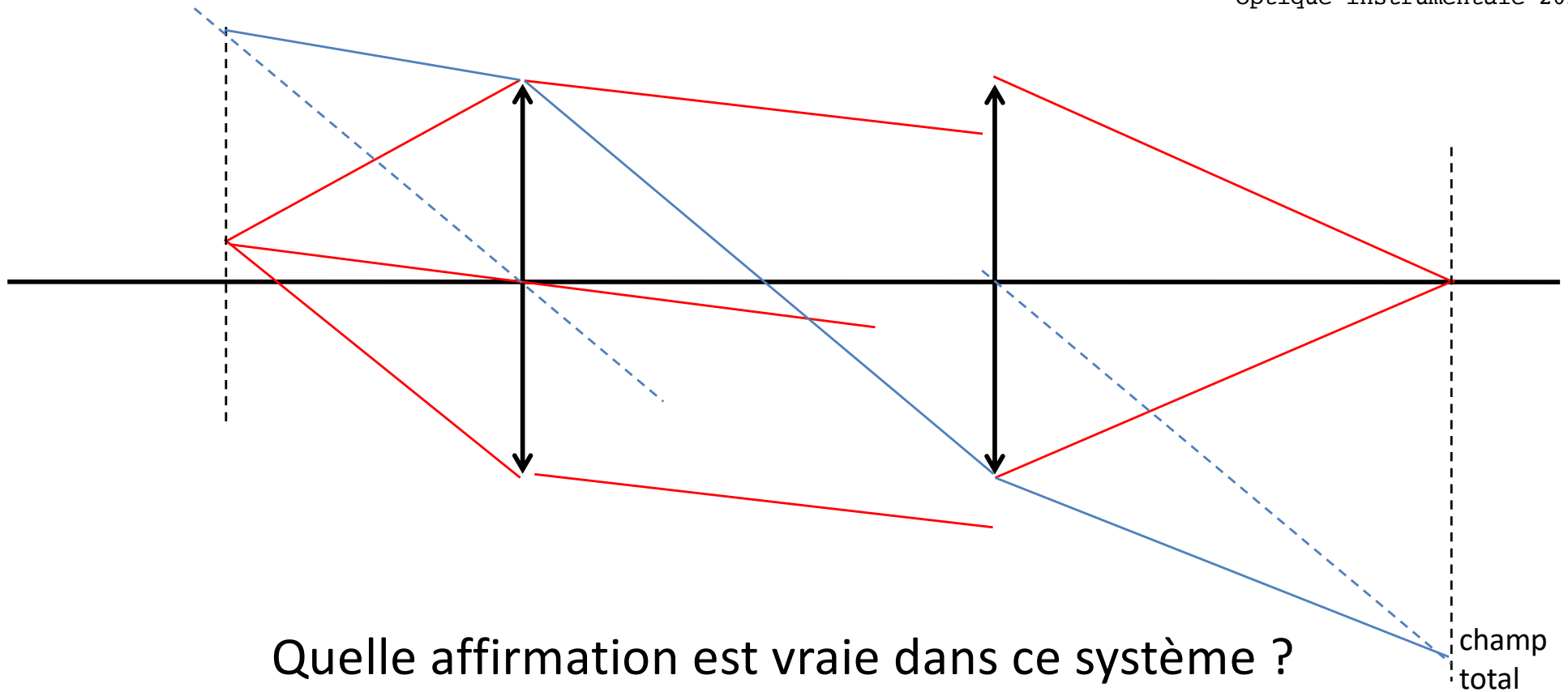
Le CPL dépend du diamètre identique des lentilles



Le CPL est nul



Le CPL est égal au champ total



Quelle affirmation est vraie dans ce système ?



Le CPL dépend du diamètre identique des lentilles



Le CPL est nul



Le CPL est égal au champ total

Quel élément limite le champ dans un sténopé ?



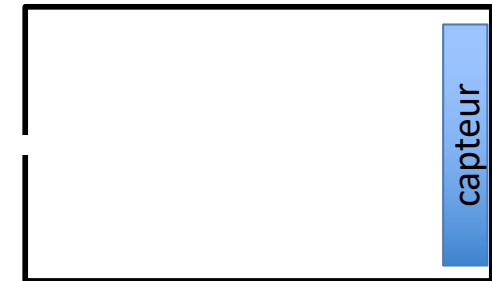
La taille du trou



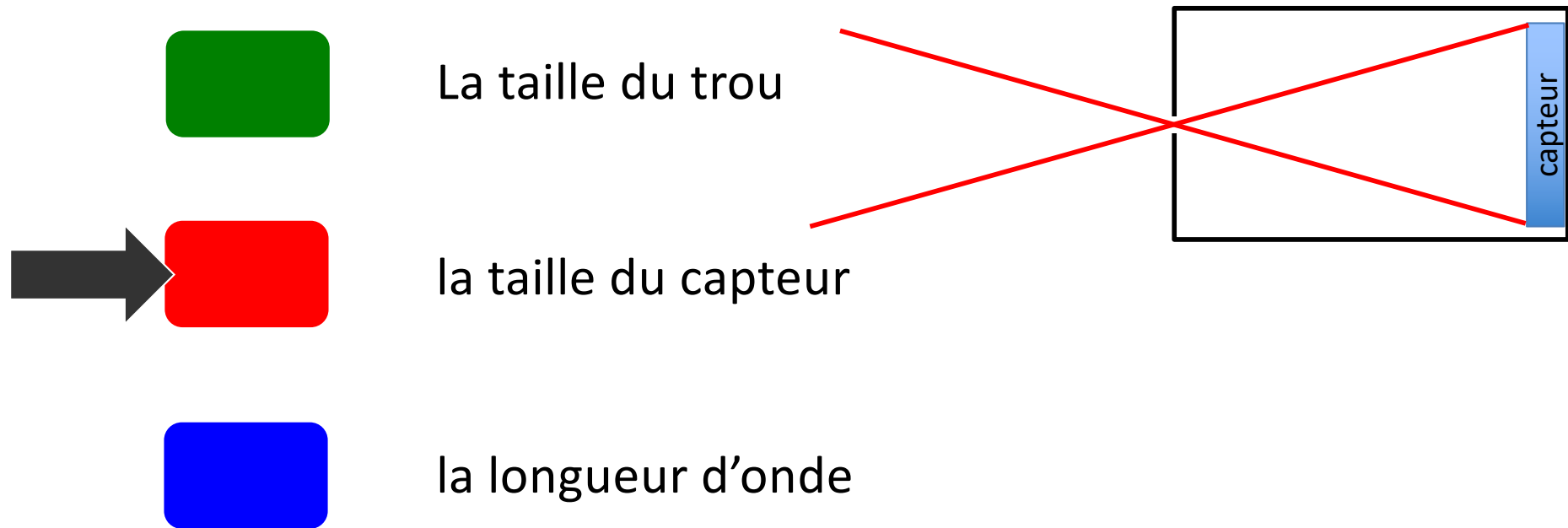
la taille du capteur

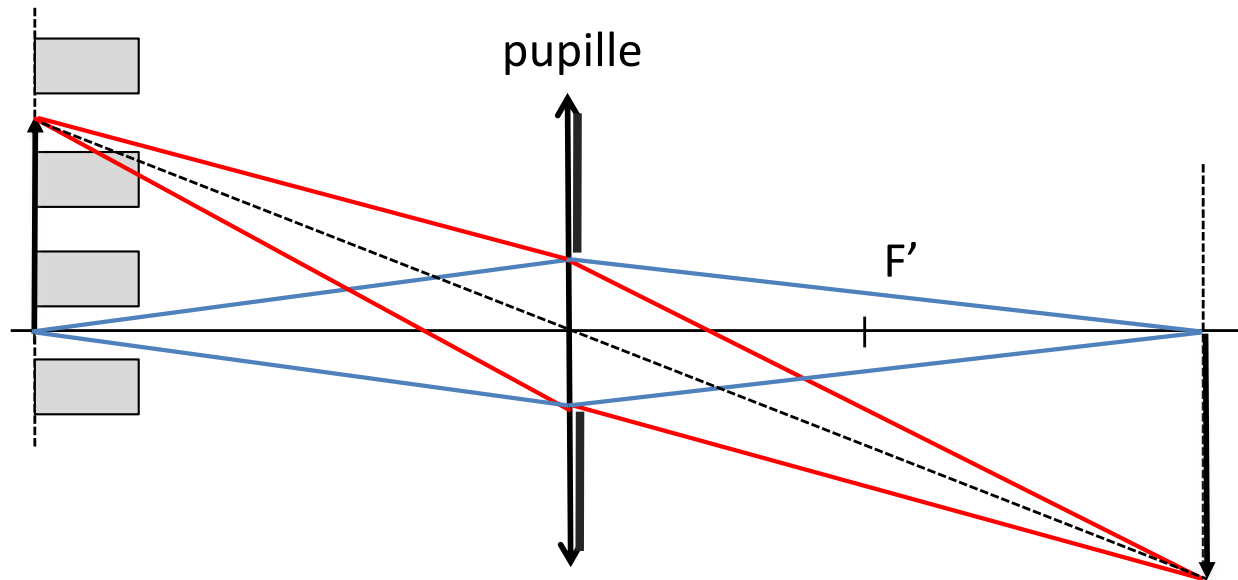


la longueur d'onde

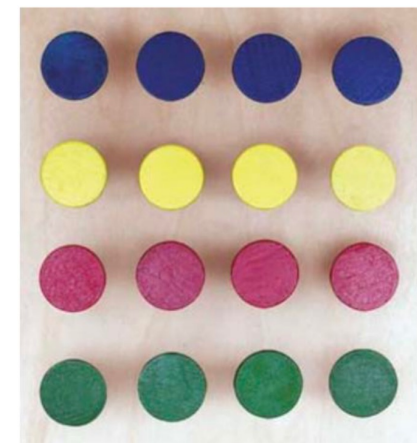
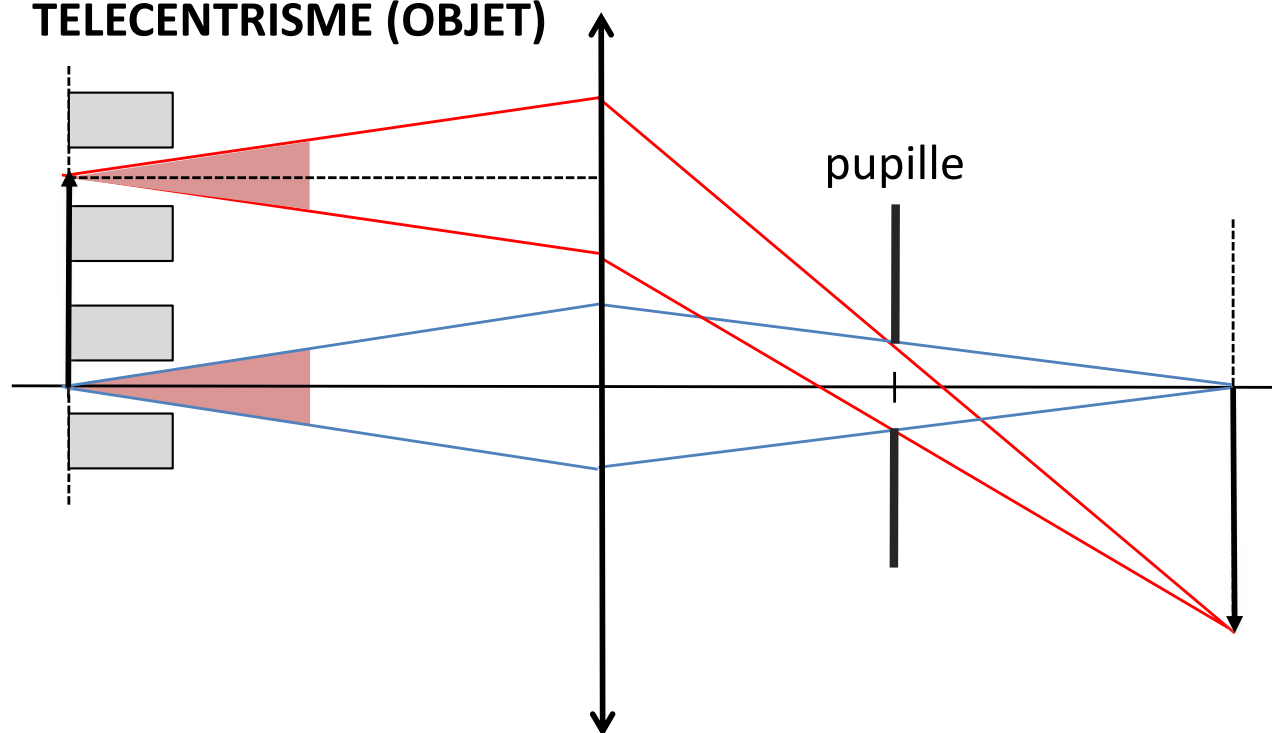


Quel élément limite le champ dans un sténopé ?



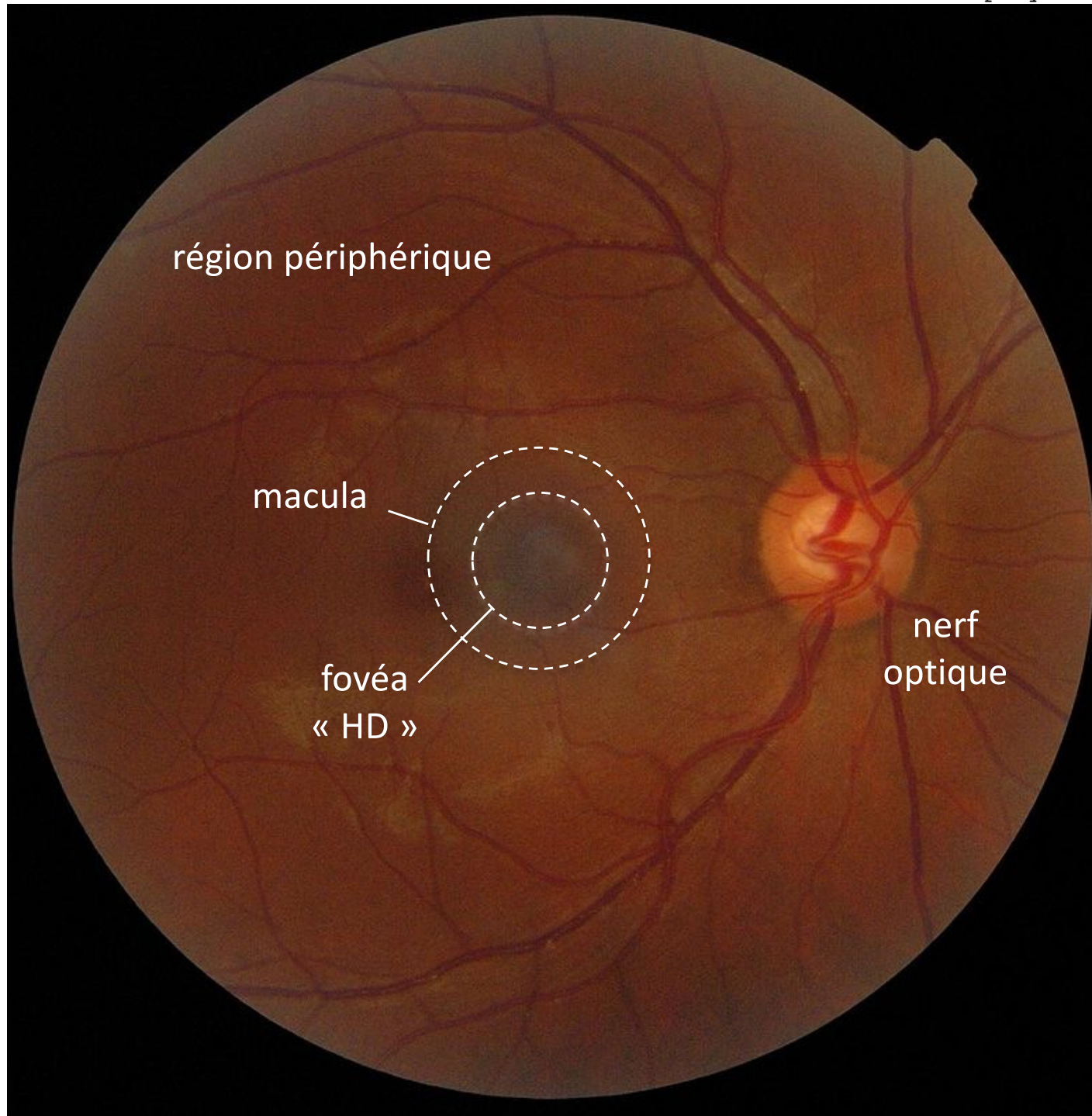


TELECENTRISME (OBJET)





Objectif télécentrique



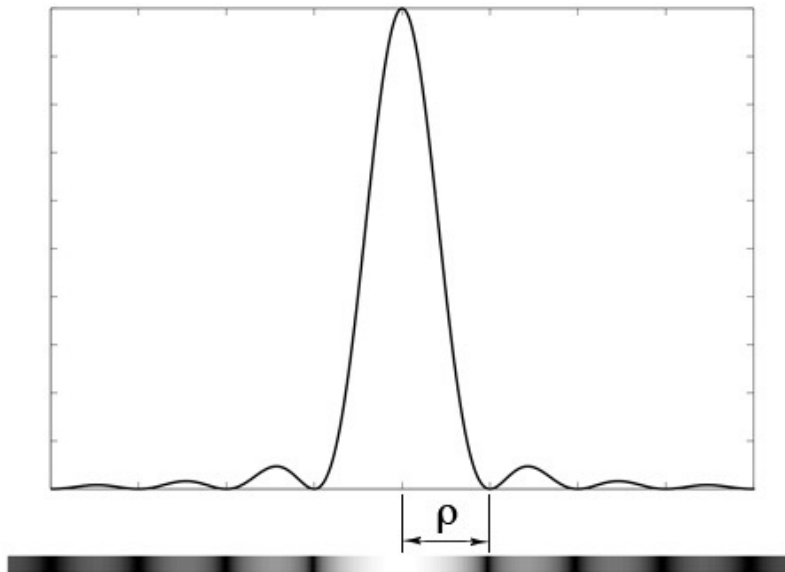
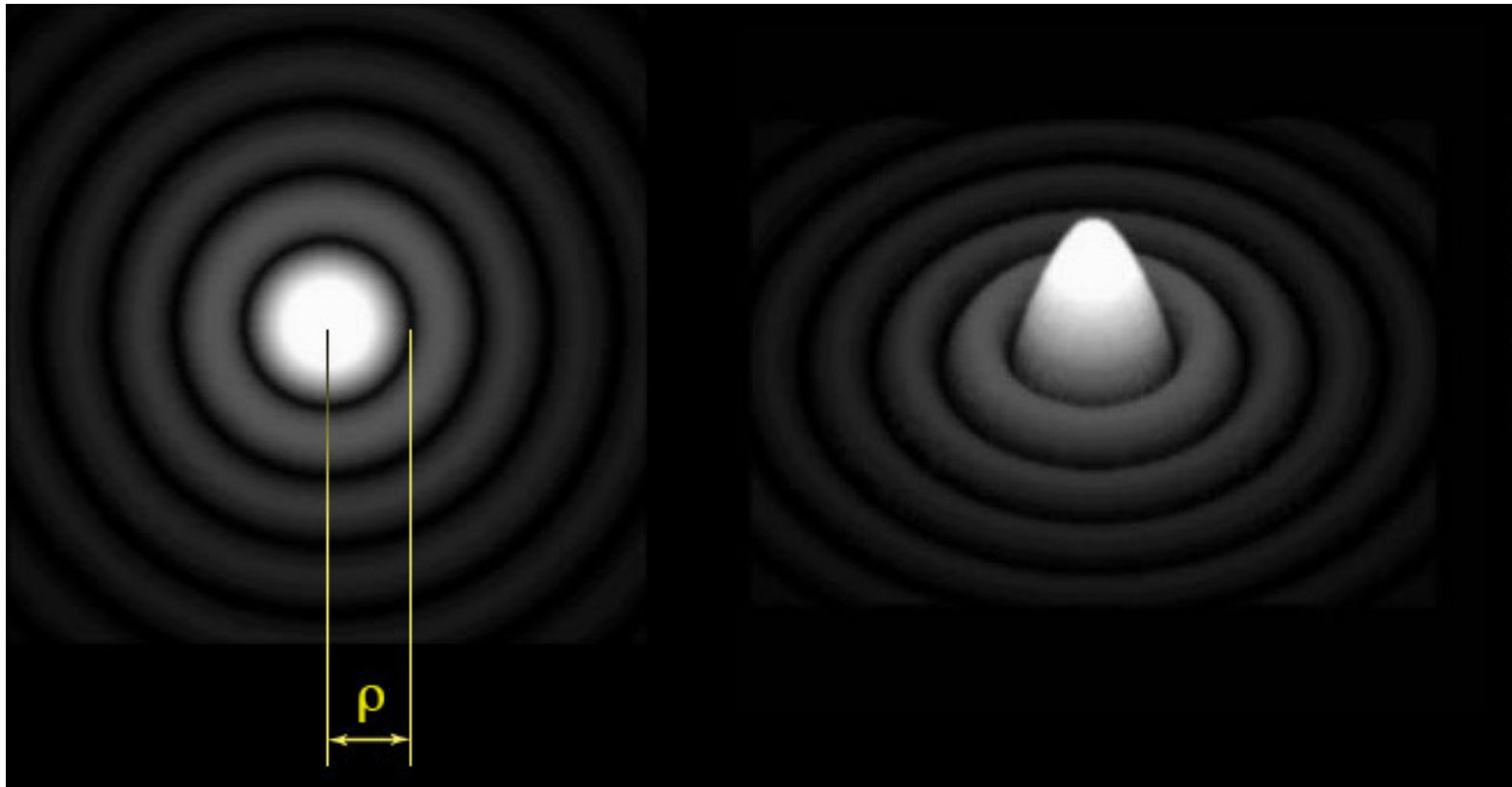


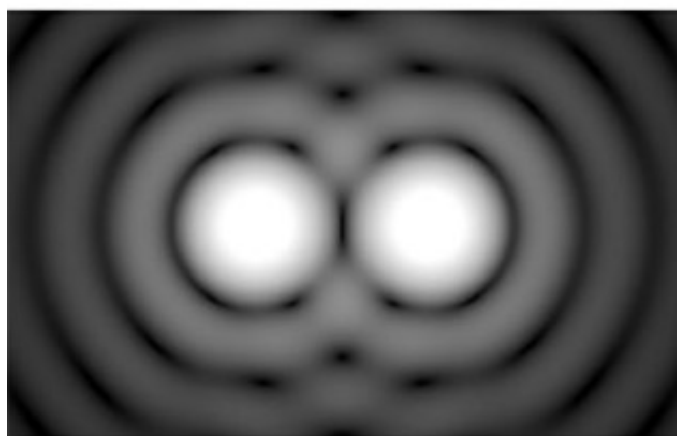
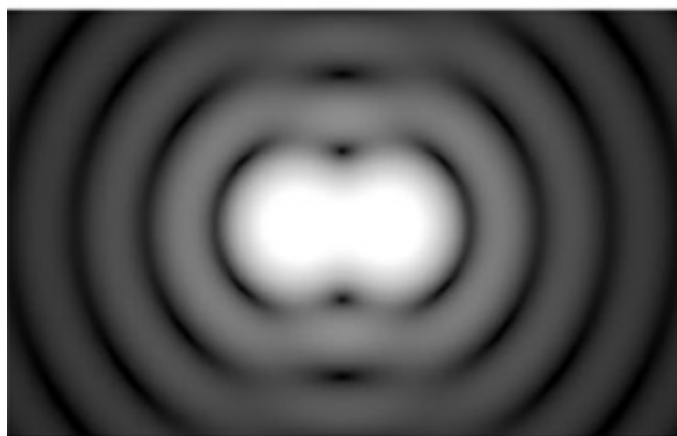
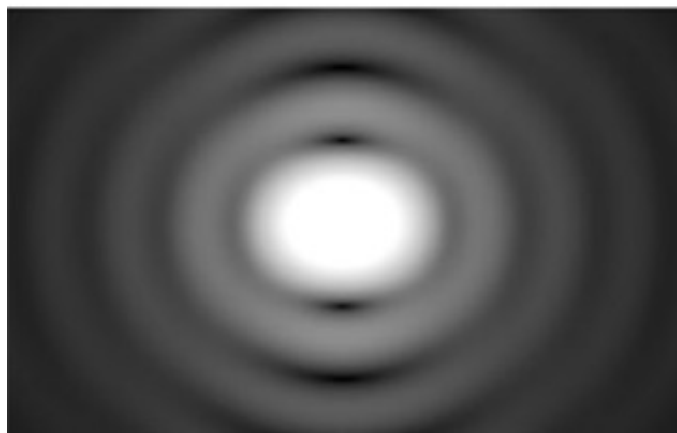
cours 9

..

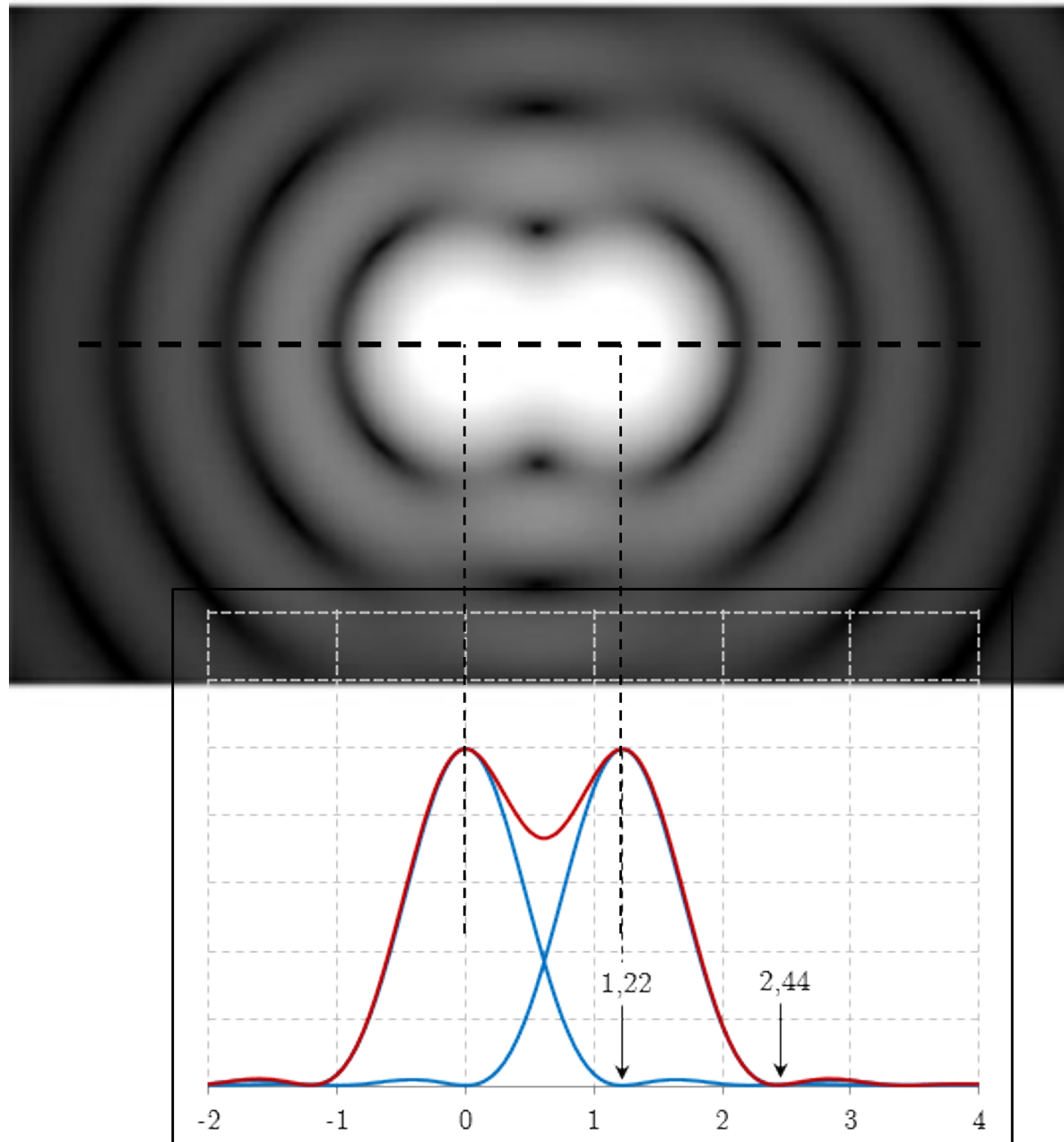
..

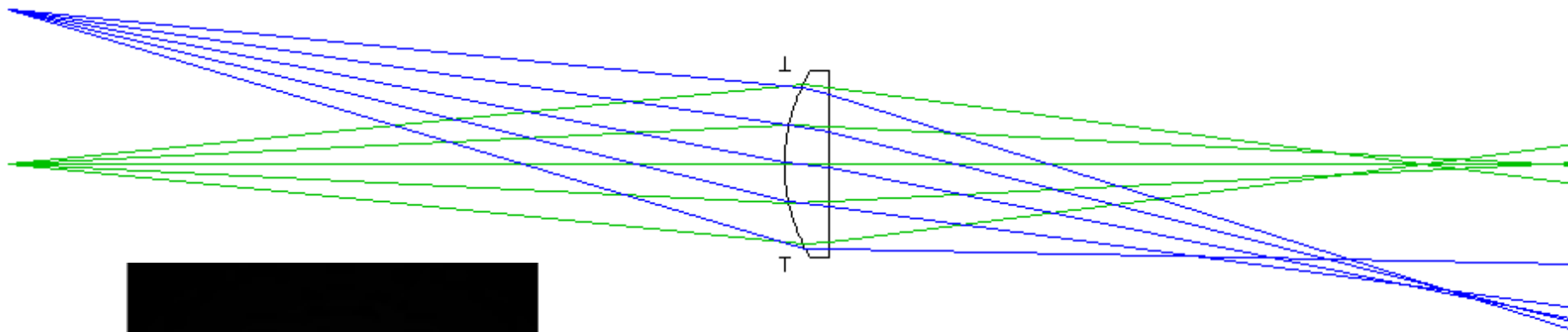
..



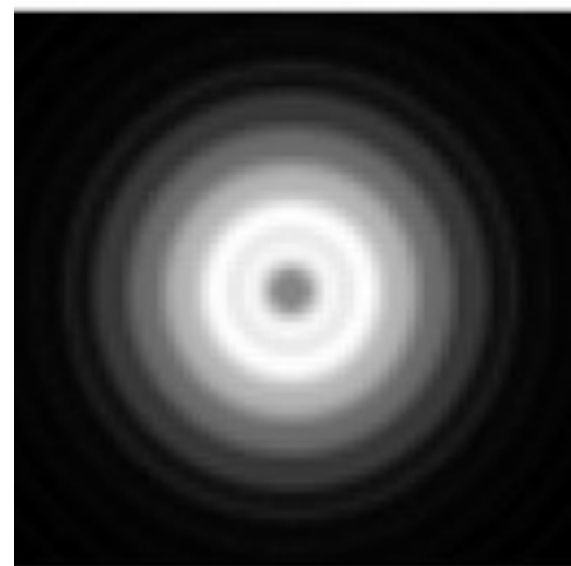


critère de Rayleigh

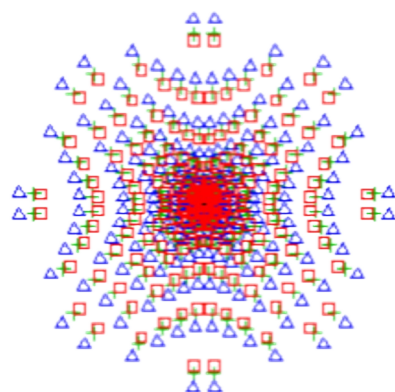




Tache de diffraction
(tache d'Airy)



PSF

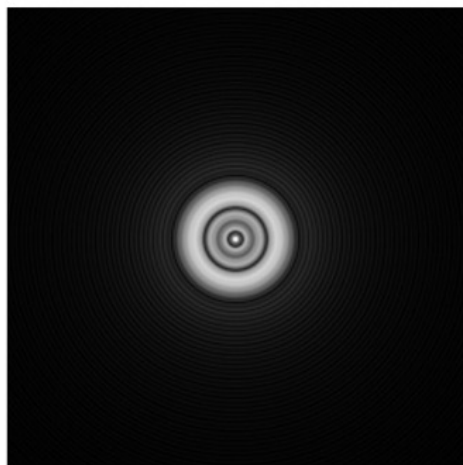


Tache géométrique
(spot diagram)



objet

*

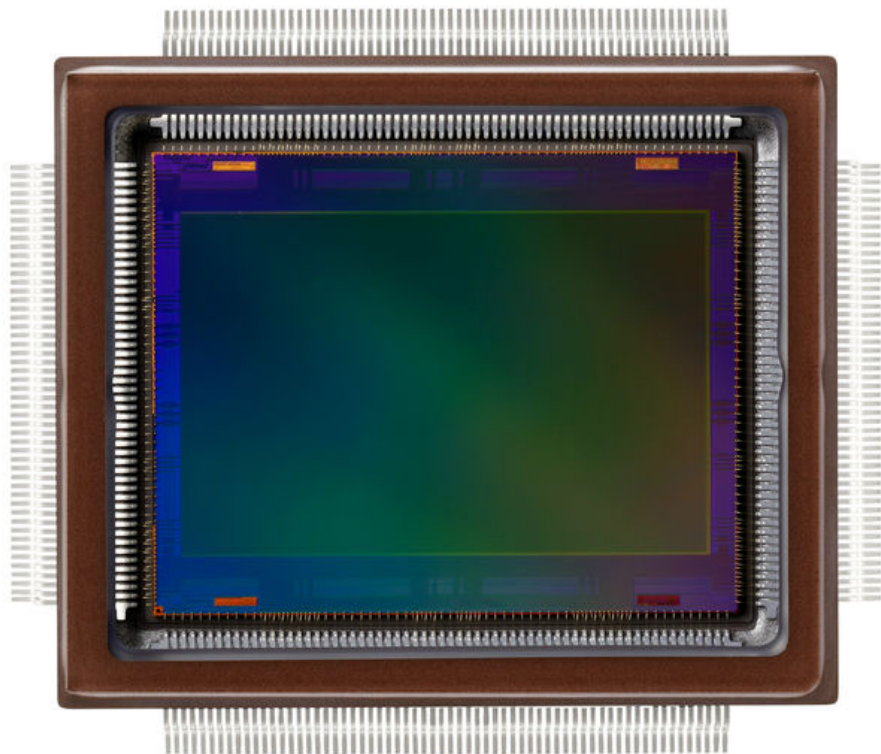


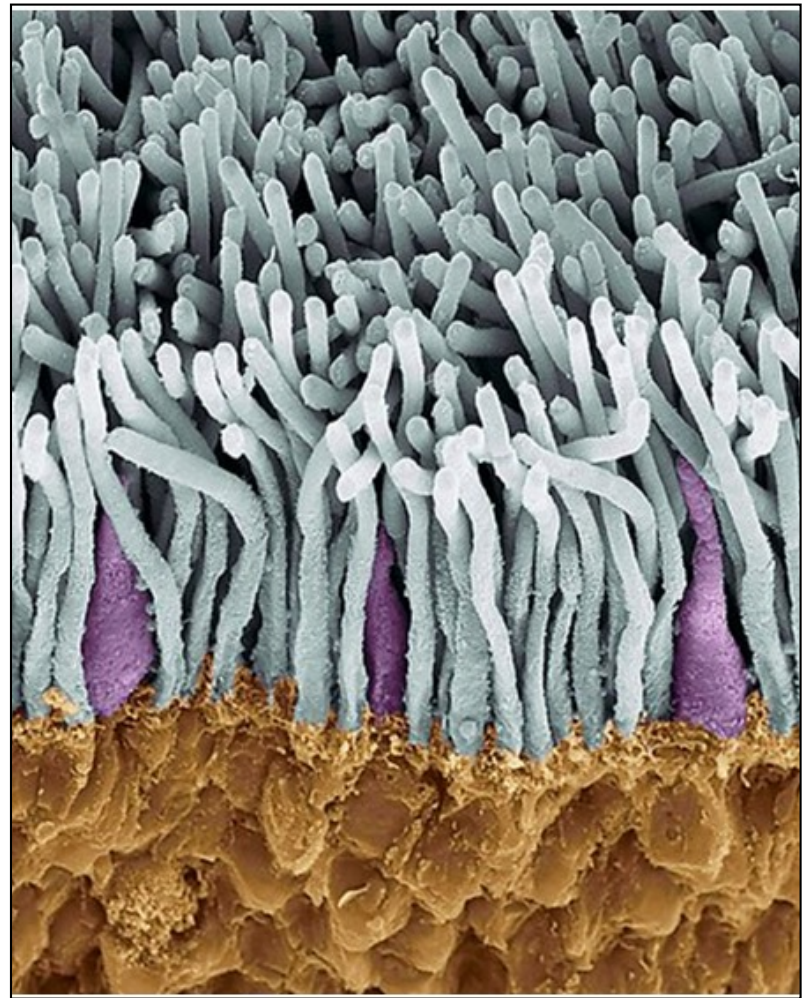
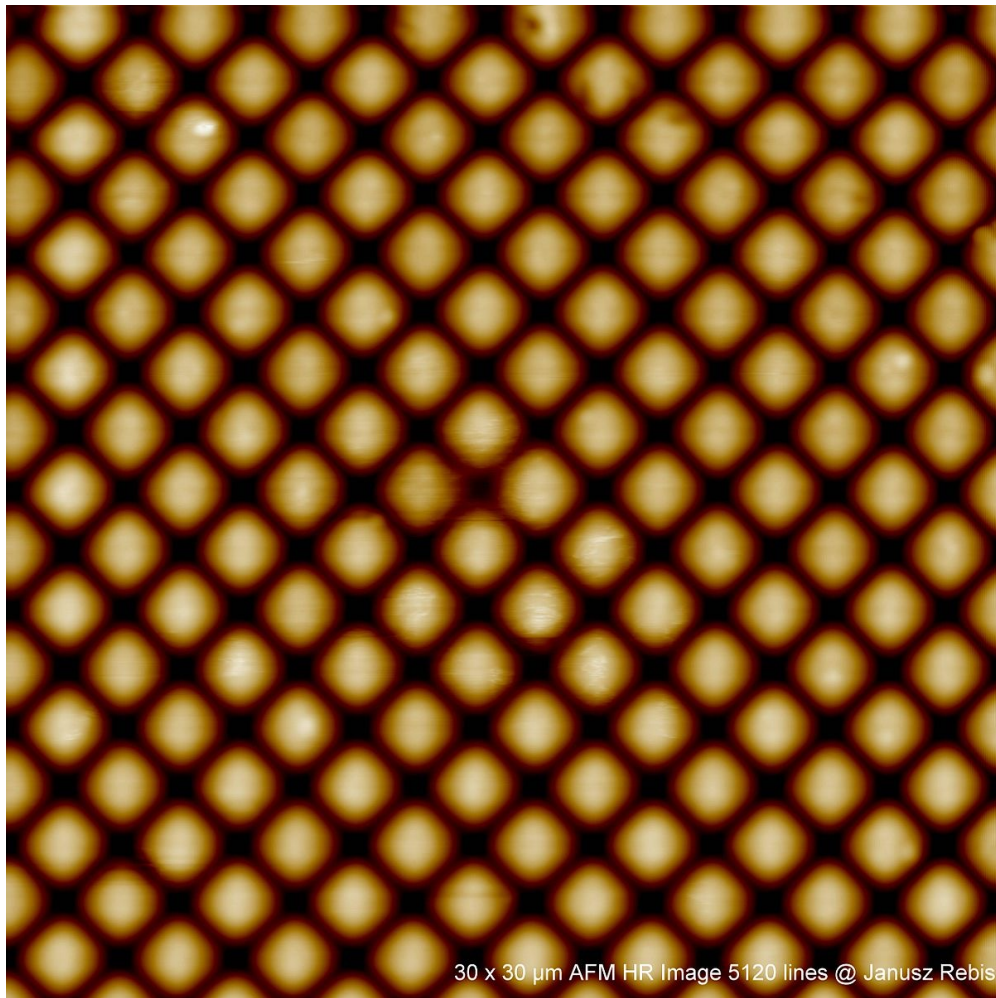
*PSF aberration sphérique
(agrandie)*

=

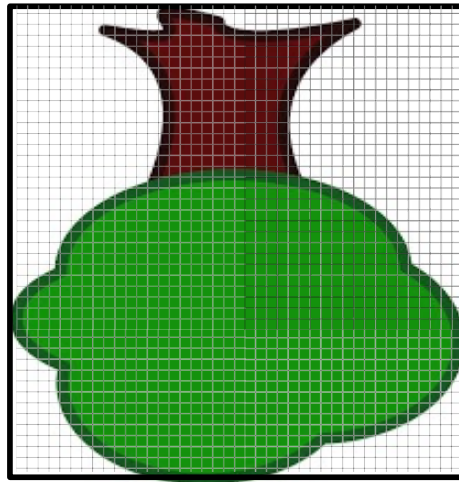


image « floue »





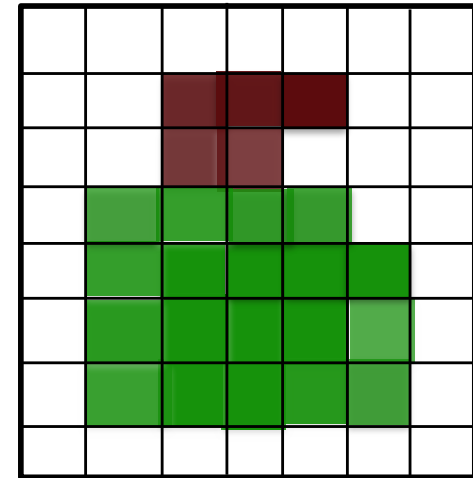
résolution limitée
par l'échantillonnage
pixel $\gg$ diffraction, aberration



petit pixel

=

optique « de qualité »



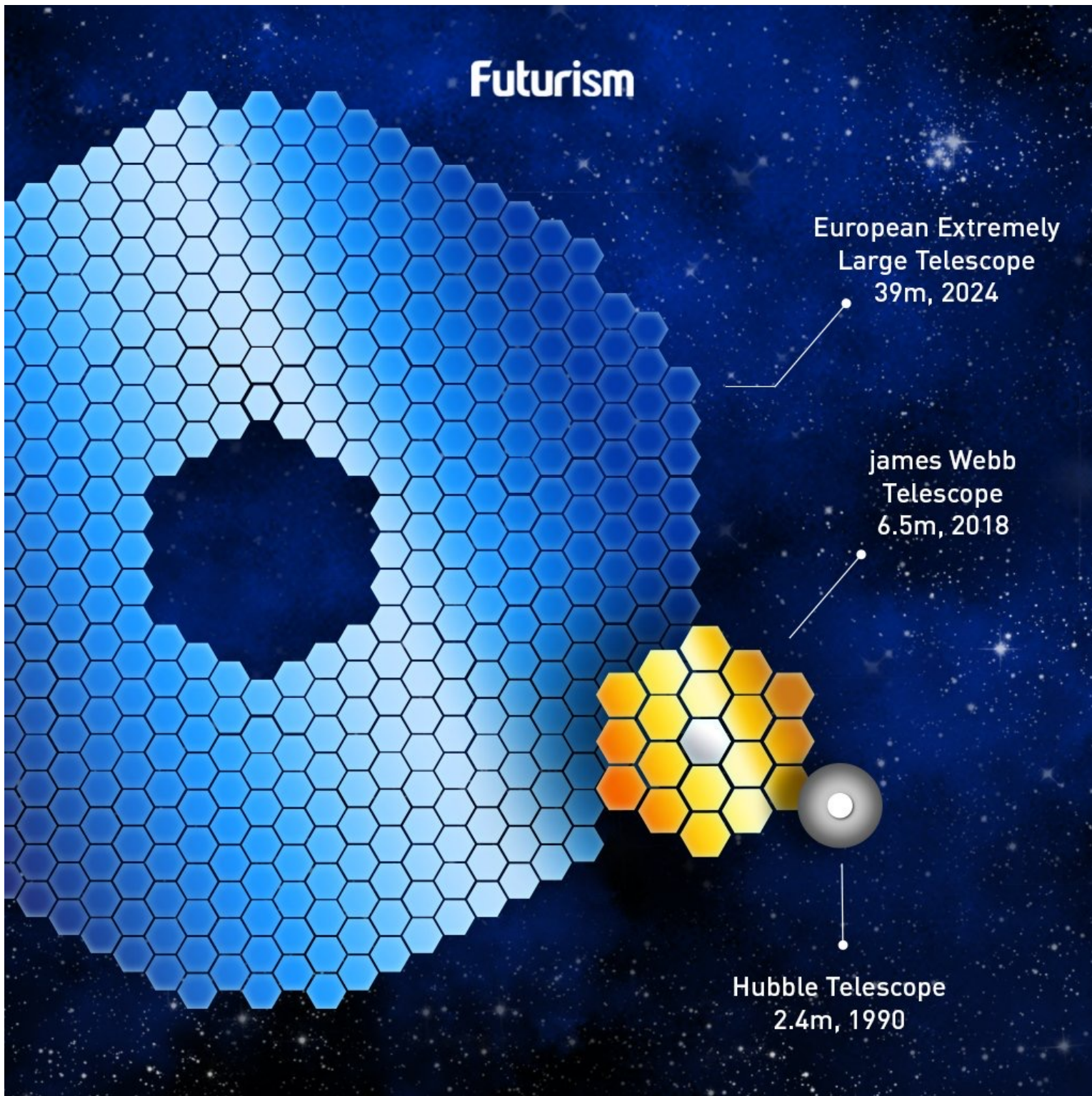
grand pixel

Futurism

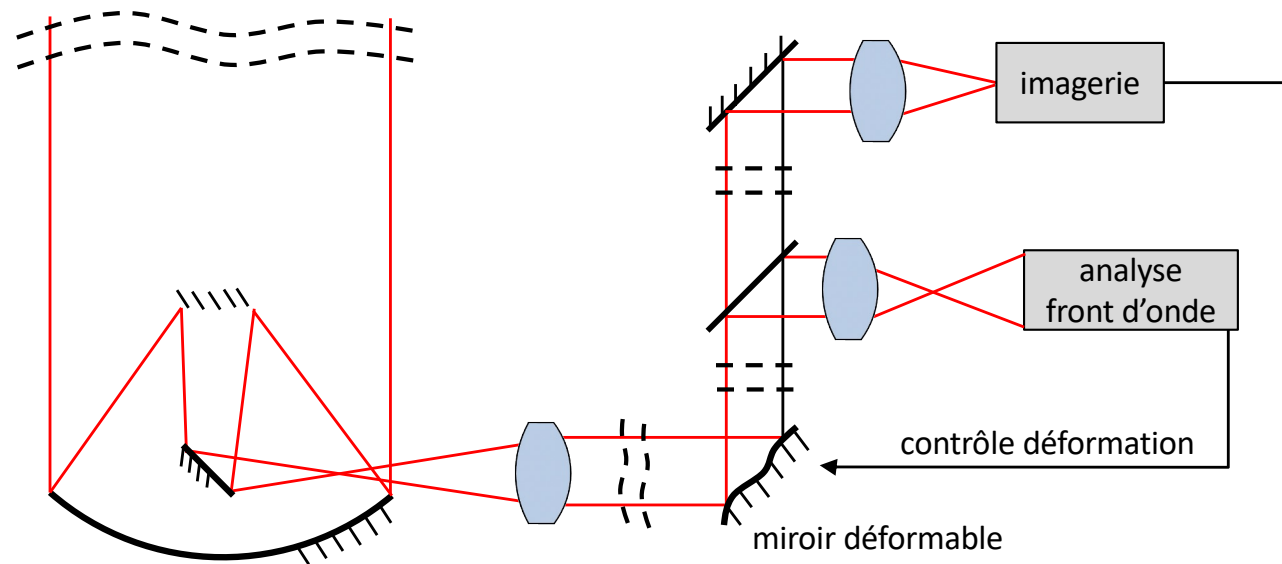
European Extremely
Large Telescope
39m, 2024

james Webb
Telescope
6.5m, 2018

Hubble Telescope
2.4m, 1990



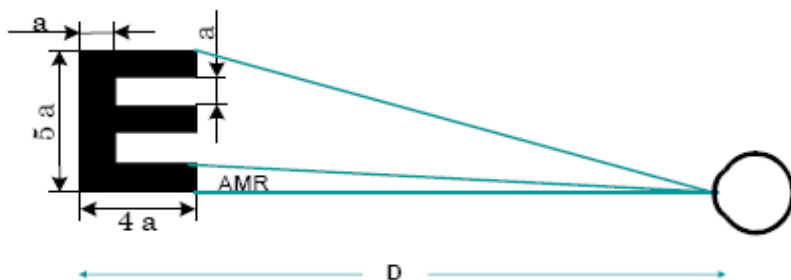
front d'onde déformé
par les turbulences atmosphériques



Paramètre de Fried

diamètre de la pupille qui fournit, en l'absence de turbulence, une tache d'Airy de même taille que le télescope en présence de turbulence.

Sur Terre dans le visible ce paramètre vaut entre 10 et 50 cm.



$D = 5 \text{ m}$, $a = 1,45 \text{ mm}$: $AMR = 1'$
 $h = 5a = 7.25 \text{ mm}$

Angle Minimum Résolu (AMR) : $1'$
 Acuité visuelle (opticien lunetier) : $AV = 1/AMR$
 AMR en minutes d'arc

AMR = $1'$ correspond à 10/10
 AMR = $10'$ correspond à 1/10

MRTVFUENCXOZD	10/10
DLVATBKUERSN	9/10
RCYHOFMESPA	8/10
EXATZHDWN	7/10
YOELKSFDI	6/10
OXPHBZD	5/10
NLTAVR	4/10
OHSUE	3/10
MCF	2/10
ZU	1/10

Echelle de Monoyer

...in addition, the same thing
...the fact that aperture
...scales on a lens have
...per focal distance oppo
...are using. If you t
...the depth of field
...ce to infinity.◁ Fo
...amera has a hype
...e focus at 18 fe





70 mm



135 mm



200 mm