

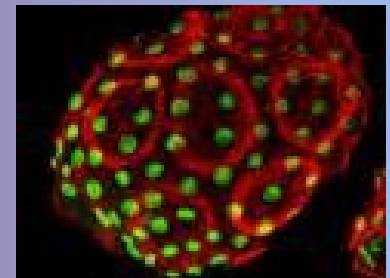
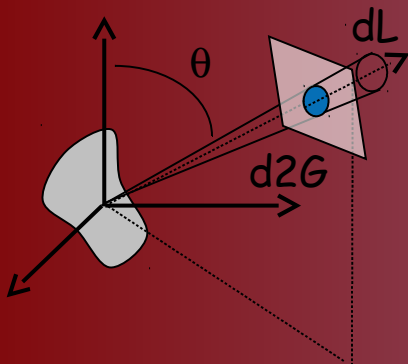
Institut d'Optique Graduate School – Master 1  
2013 - 2014

# RADIOMÉTRIE

Définition (Académie française, éd. 1986): XIXe siècle. Composé de *radio-* et de *-métrie*, du grec *metron*, « mesure ». Mesure des grandeurs énergétiques relatives aux rayonnements.

**Dr Julien Moreau**

*Laboratoire Charles Fabry – Biophotonics Group*



# Plans du cours

---

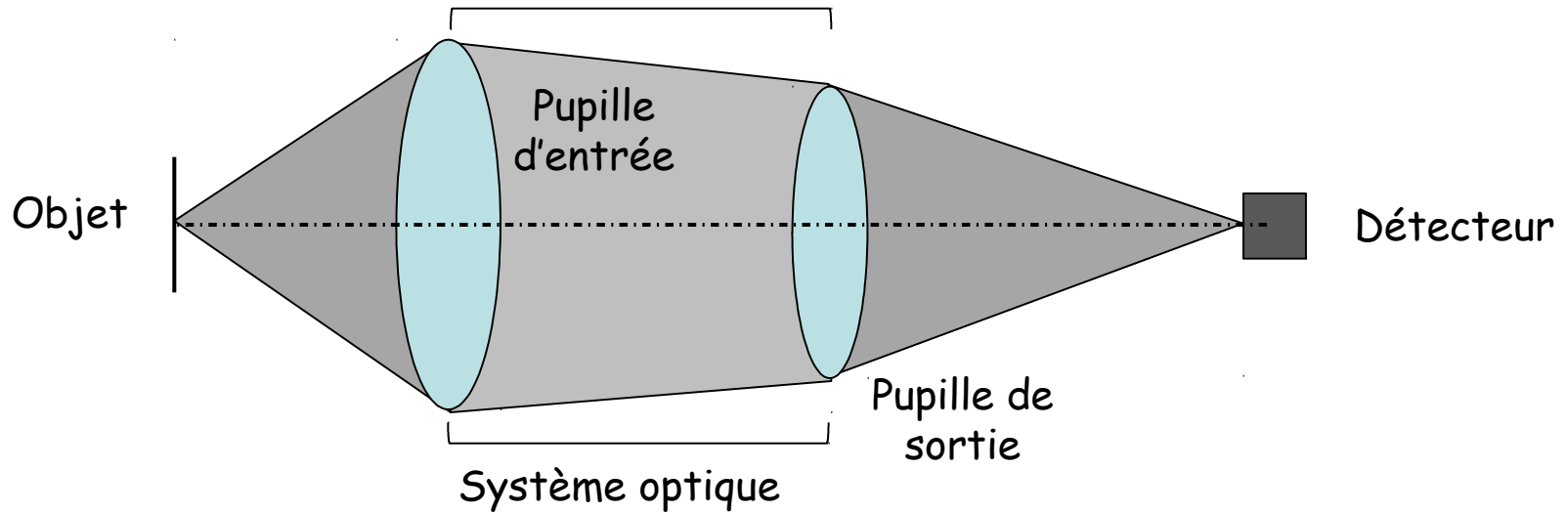
## 1. Caractérisation d'un rayonnement

1. Grandeurs géométriques et radiométriques
2. Cas des systèmes optiques

## 2. Sources lumineuses

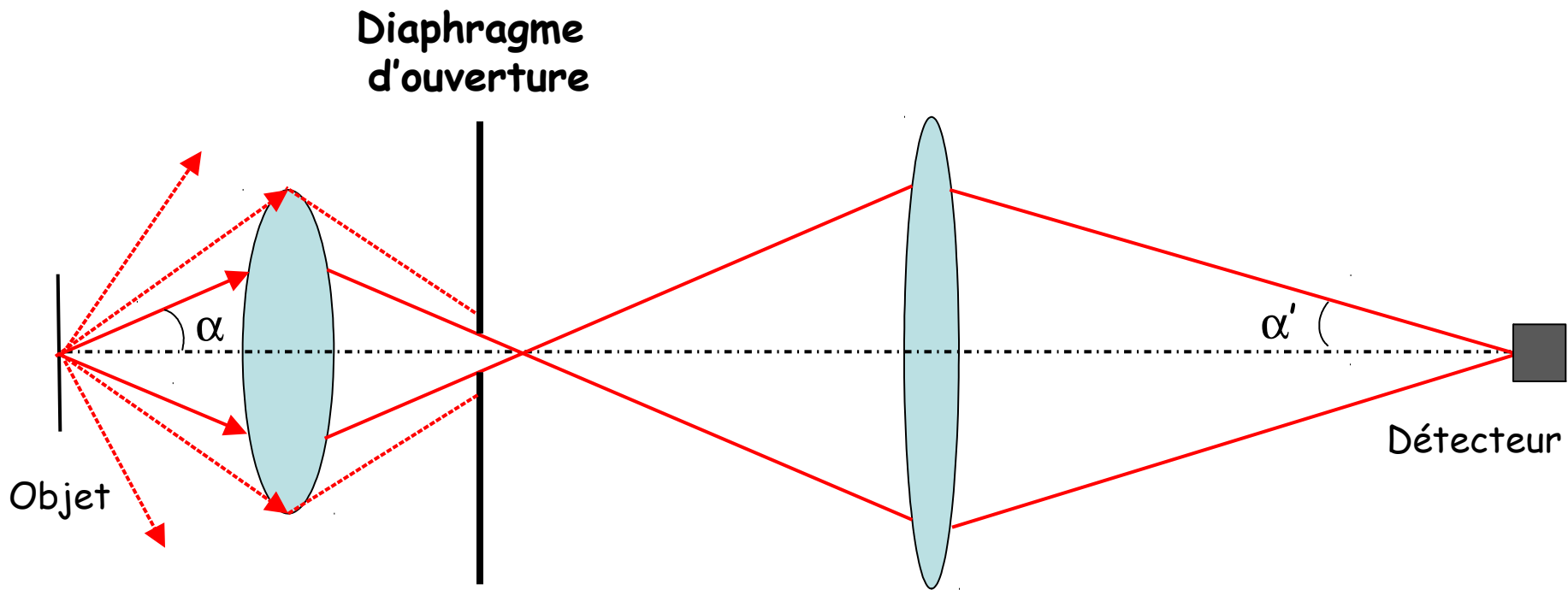
1. Le Corps noir : modèle et propriétés
2. Autres sources de lumière

## Système optique



Pour déterminer le flux reçu par le détecteur, provenant d'un objet, il faut déterminer :

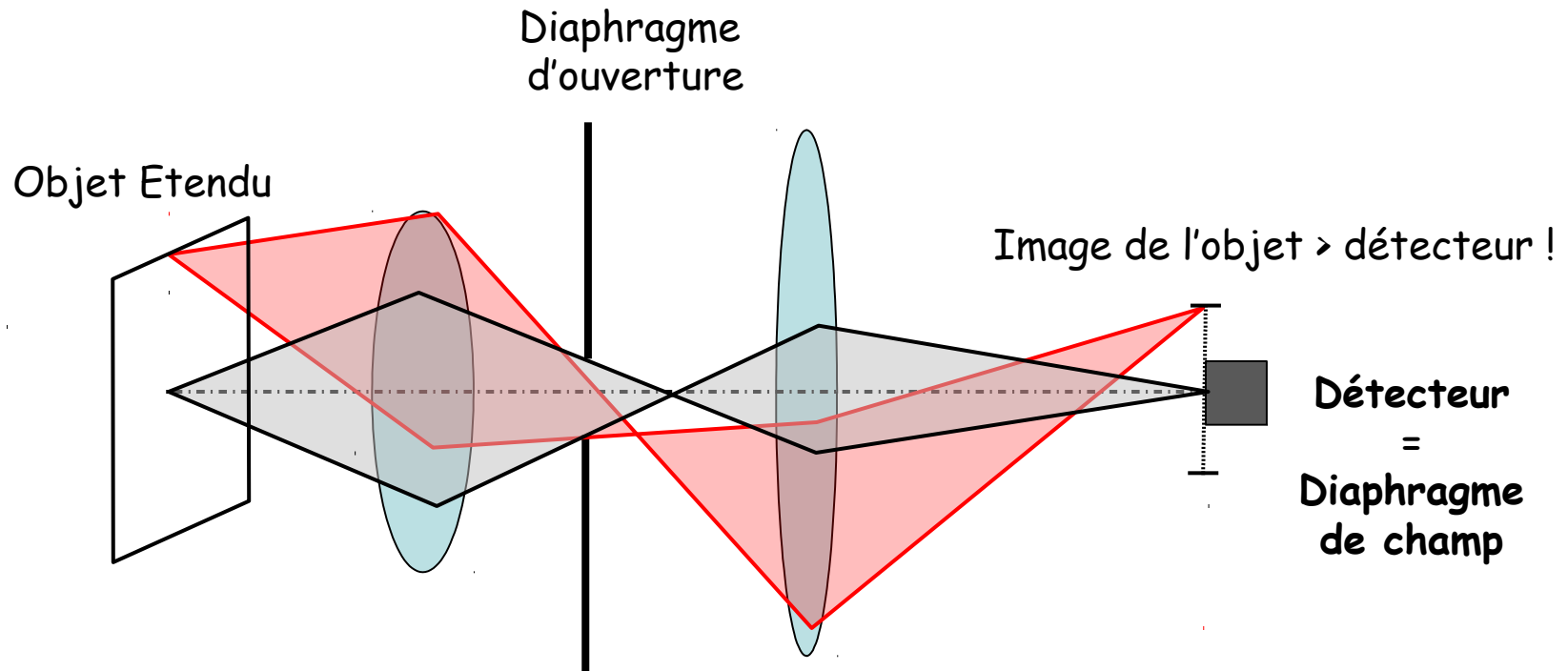
- Le diaphragme d'ouverture
  - Le diaphragme de champ
- > **Etendue géométrique  $G$**



Le diaphragme d'ouverture impose un angle maximal  $\alpha$  pour les faisceaux provenant de l'objet (resp. arrivant sur le détecteur :  $\alpha'$ )

Ce diaphragme d'ouverture peut être n'importe quel élément du système (un véritable diaphragme ou une optique).

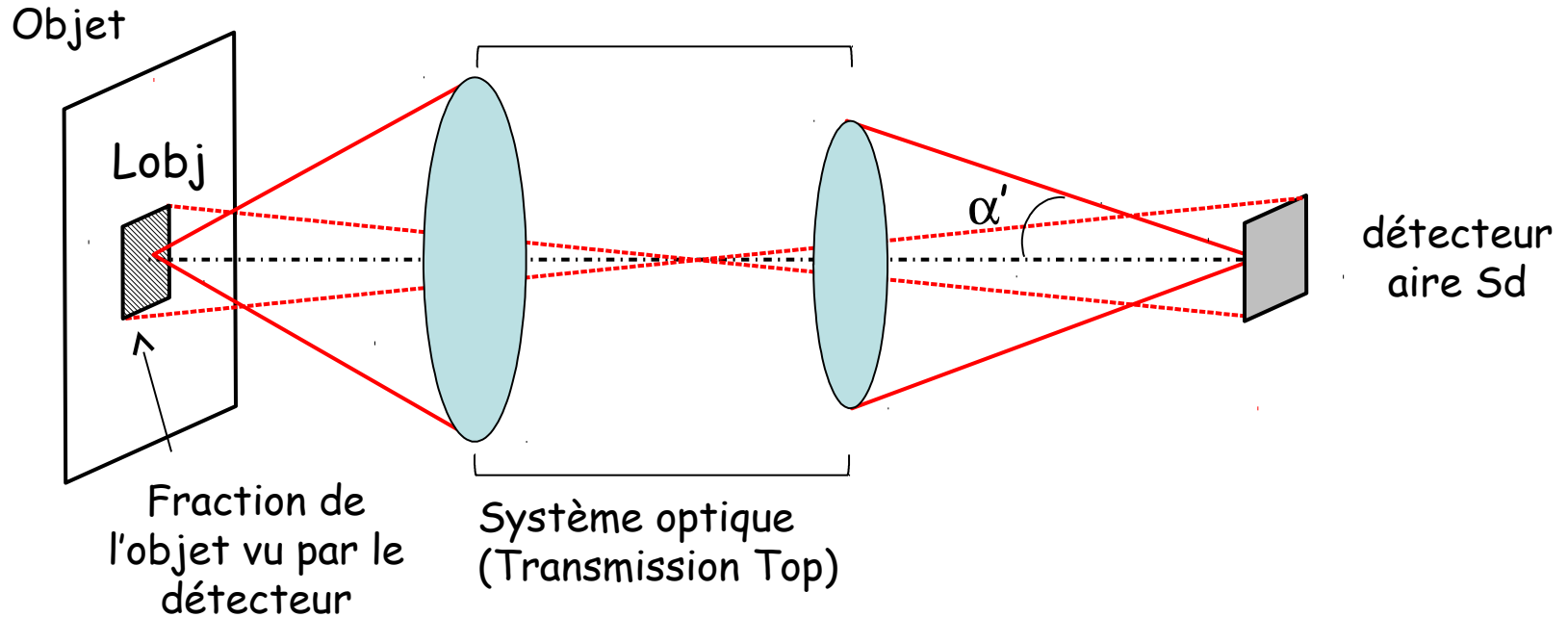
## Diaphragme de champ : 2 cas possibles



1er cas : c'est la taille du détecteur qui limite le champ du système

Diaphragme de champ = détecteur → **Capteur d'image**

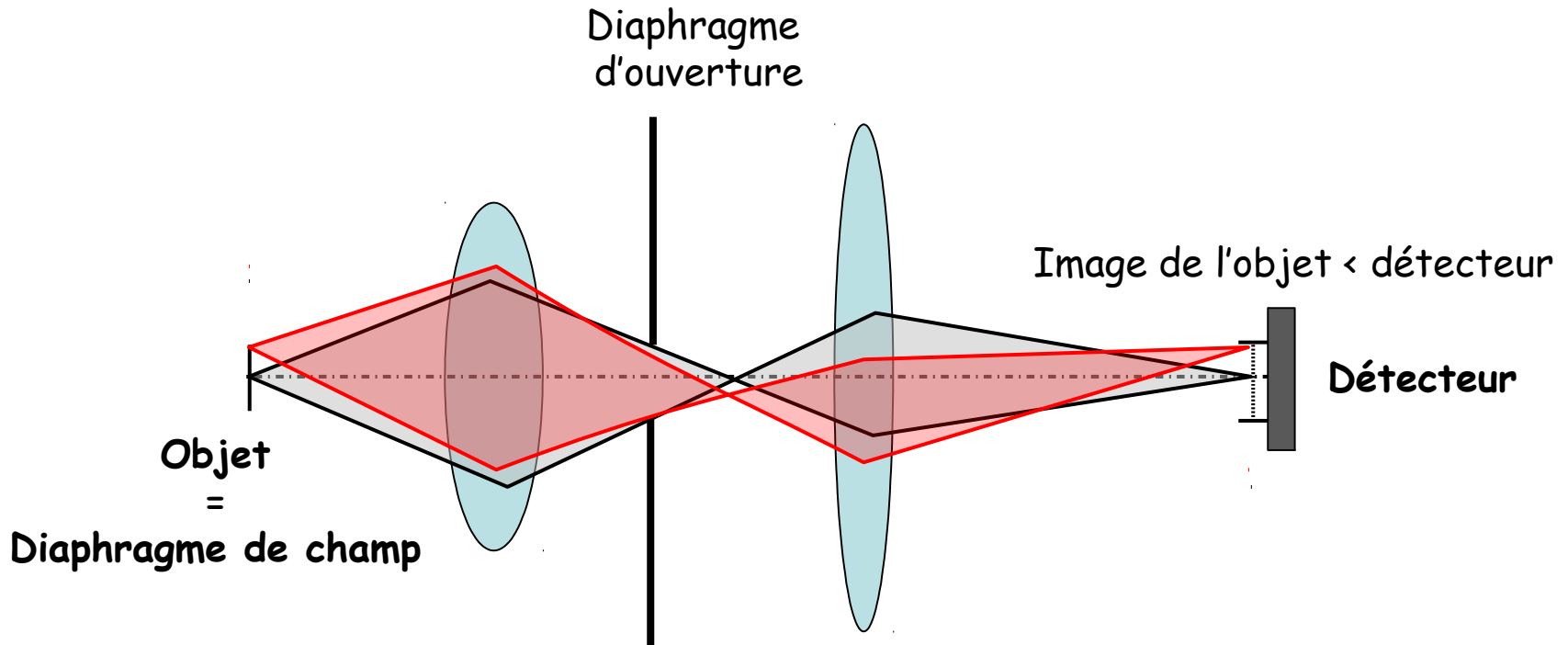
## Calcul du flux reçu dans un capteur d'image



Si  $S_d$  est petit par rapport à la surface de l'optique (très souvent le cas en pratique) et la luminance de l'objet uniforme alors :

$$F_{\text{dét}} = \text{Top} \cdot L_{\text{obj}} \cdot G = \text{Top} \cdot L_{\text{obj}} \cdot \pi \cdot S_d \cdot \sin^2(\alpha')$$

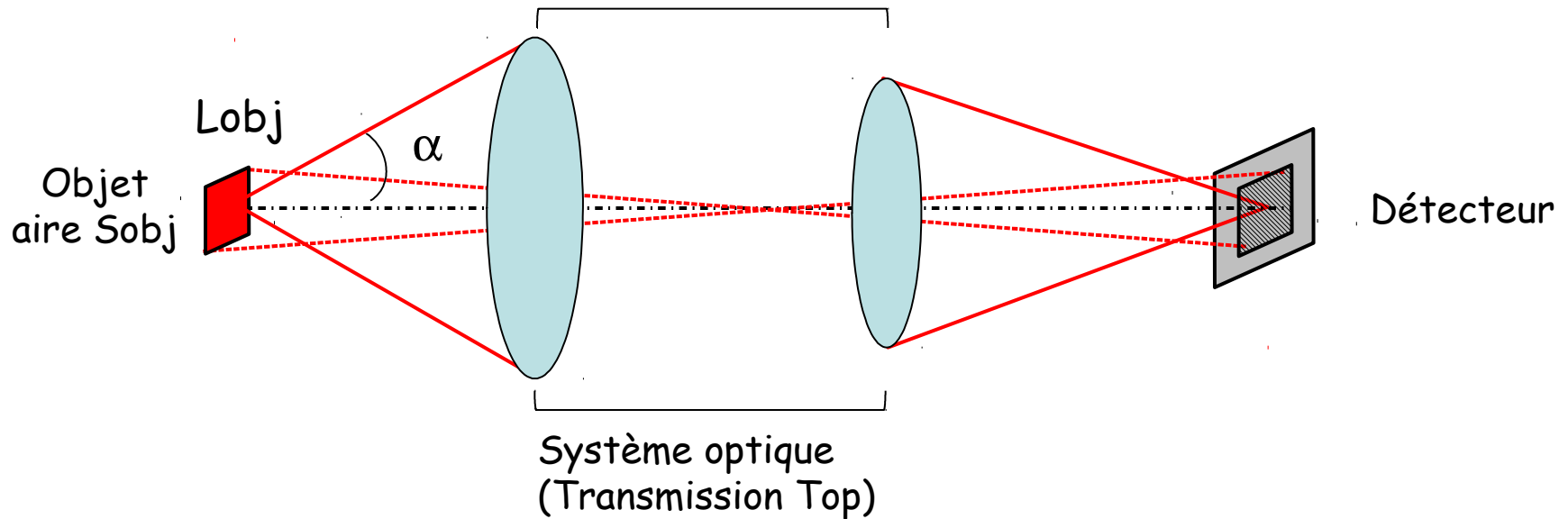
## Diaphragme de champ, 2nd cas :



C'est la taille de l'objet qui limite le champ du système

Diaphragme de champ = Objet → Capteur de flux

## Calcul du flux reçu dans un capteur de flux



Si  $S_{obj}$  est petit par rapport à la surface de l'optique et la luminance de l'objet uniforme alors :

$$F_{dét} = T_{op}.L_{obj}.G = T_{op}.L_{obj}.\pi.S_{obj}.\sin^2(\alpha)$$



## Nombre d'ouverture : Cas particulier d'un objet à l' $\infty$

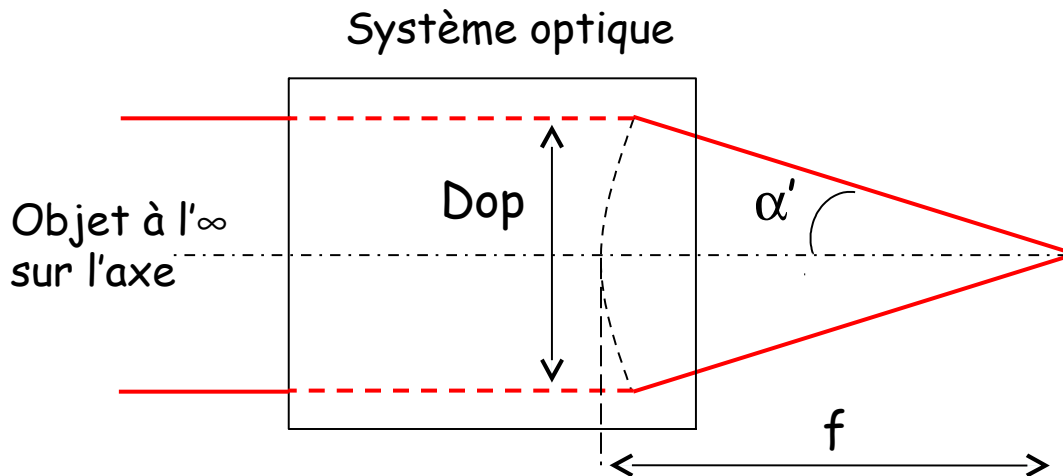
On appelle **nombre d'ouverture** (noté  $N$  ou  $f/\#$ ) d'un système optique :

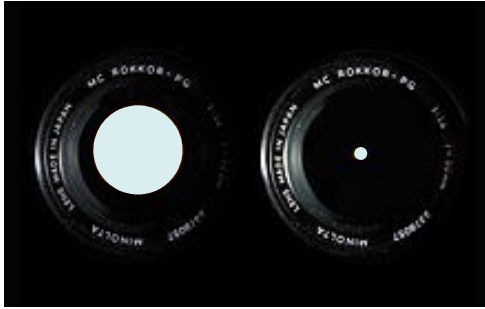
$$N = \frac{1}{2 \cdot \sin(\alpha')}$$

Pour un système aplanétique (sans coma, ni aberration sphérique), les plans principaux sont des portions de sphère, d'où :

sont des portions de sphère, d'où :

$$N = \frac{f}{D_{op}}$$





f/1,4  
(N = 1,4)

f/16  
(N = 16)

Petit nb d'ouverture :

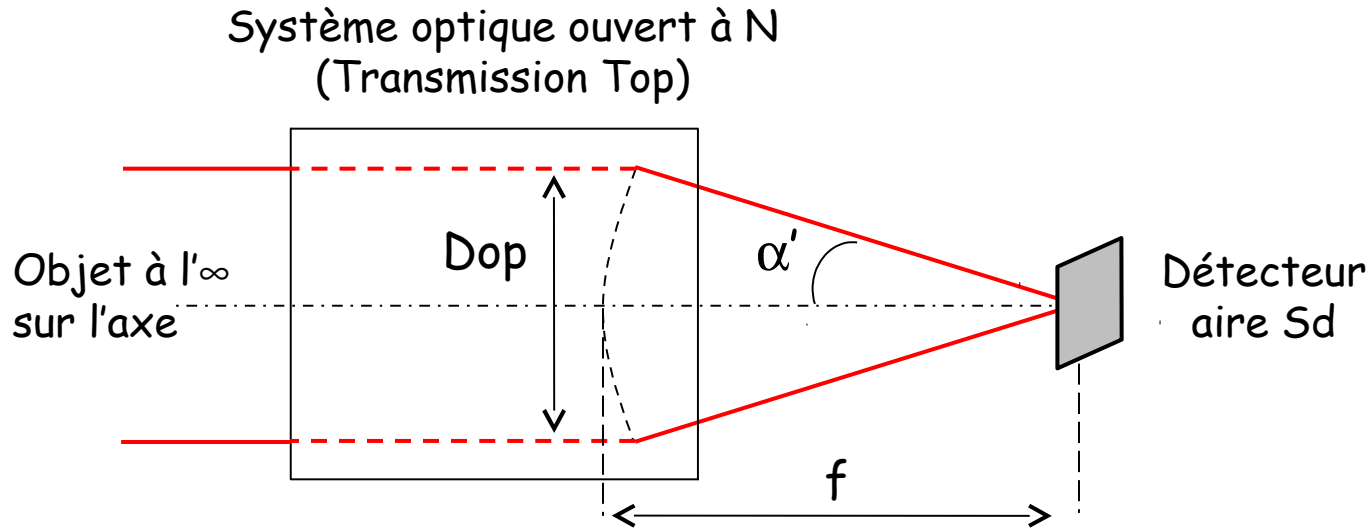
- plus de lumière
- aberrations importantes
- profondeur de champ réduite

En microscopie, on définit plutôt l'ouverture numérique :  $NA = n_0 \cdot \sin \theta$   
Avec  $n_0$ , l'indice du milieu couvrant (air, eau ou huile)

La résolution est liée à l'ouverture numérique :  $r = \lambda / (2 \cdot NA)$



## Capteur d'image en configuration $\infty$ -foyer :



Le flux reçu par le détecteur s'écrit (pour  $S_d$  petit) :

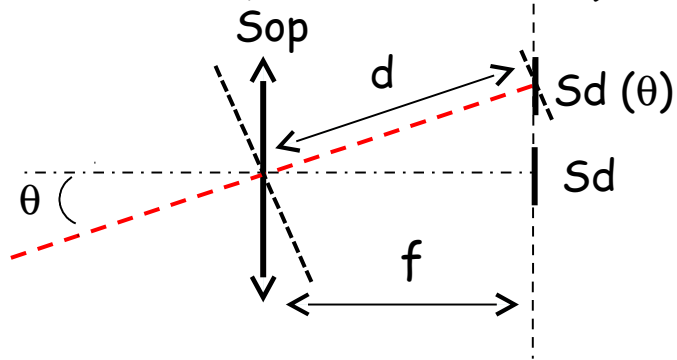
$$F = T_{op} \cdot L_{obj} \cdot \pi \cdot S_d \cdot \sin^2(\alpha')$$

$$F = T_{op} \frac{\pi \cdot S_d}{4N^2} L_{obj}$$



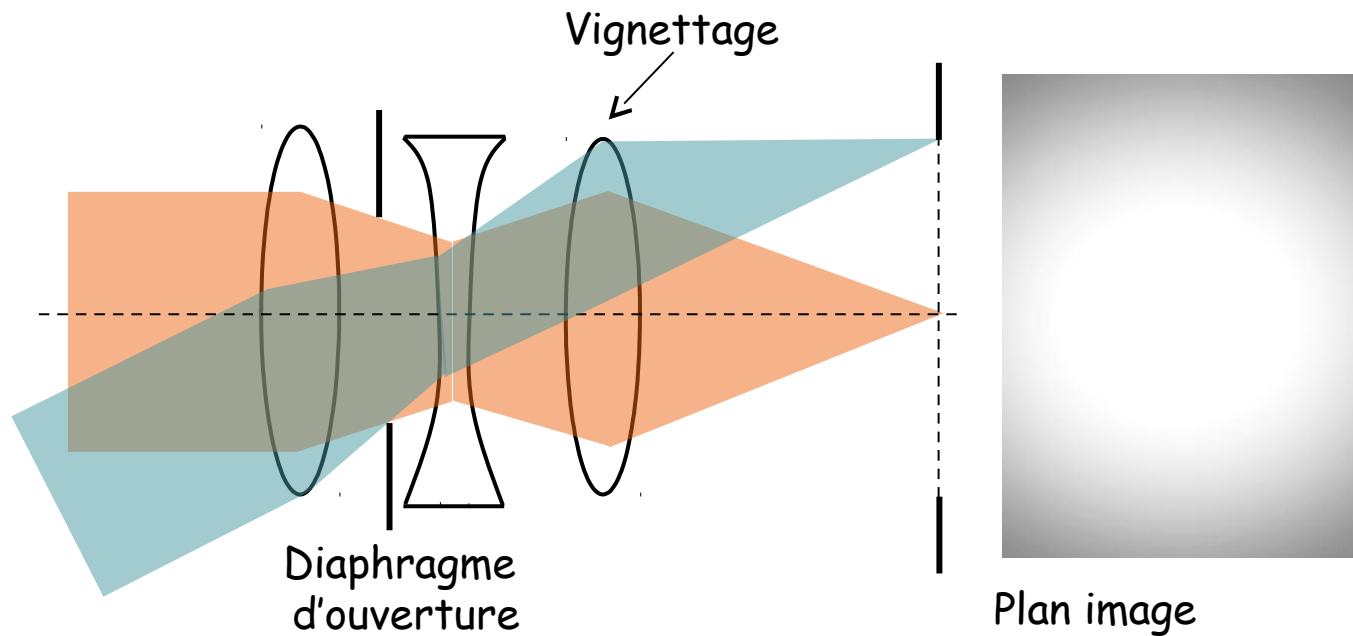
Uniquement valable  
pour un objet à l' $\infty$

Comment varie l'éclairage dans le plan image pour un objet hors axe ?  
(lentille mince, faible ouverture)



Donc, pour un objet de luminance uniforme ::  $E(\theta) = E(0) \cdot \cos^4(\theta)$

En pratique, dans un système optique complexe, l'éclairement loin de l'axe optique sera très souvent limité par les différents éléments optiques ou mécaniques : **Phénomène de vignettage**

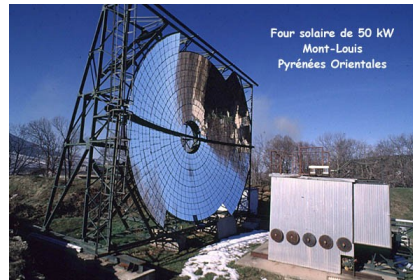
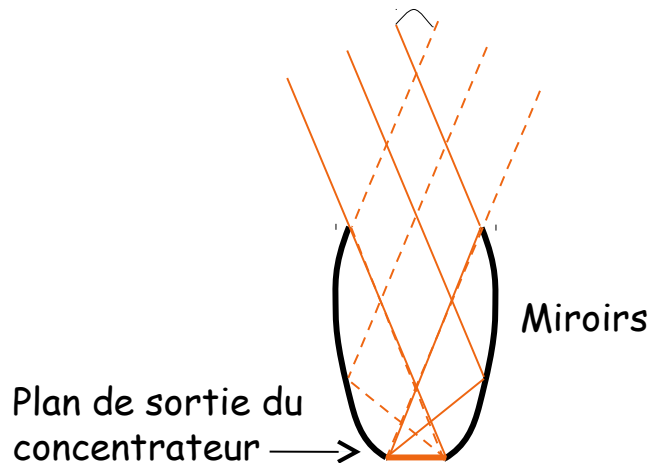


On observe un assombrissement très rapide au bords de l'image (coins sombres). Dans les bords de l'image, la loi en de variation de l'éclairement en  $\cos^4(\theta)$  n'est plus valable.

Pour certaines applications: énergie solaires, éclairage à LED... on cherche à maximiser la quantité de lumière collectée et non à faire une image de la source. Dans ce cas il est préférable d'utiliser des **optiques non imageantes**.

Ex: concentrateur parabolique

Source de diamètre  
angulaire  $2\theta$



Ces systèmes permettent de collecter un maximum de flux, mais ne forme pas une image (au sens du stigmatisme) de la source.


Malgré tout, la conservation de l'étendue géométrique reste valable dans ces systèmes !

Tout propagation réelle de la lumière devrait inclure le phénomène de **diffraction**.

En radiométrie, souvent négligeable : influence de la diffraction  $< 1\%$

Toutefois, pour certaines applications demandant une grande précision de mesure (métrologie), il est nécessaire de tenir compte de la diffraction dans le bilan radiométrique.

On trouve dans la littérature (voir références en bas de page), des modèles analytiques dans un certain nombre de configurations courantes (source, détecteur circulaire, lumière monochromatique et polychromatique). Au-delà, un calcul numérique est la seule solution.

 Exception notable: il faut toujours vérifier que le détecteur (photodiode, pixel d'une caméra...) est plus grand que la tache d'Airy, en particulier dans l'I. R.

1. Point source et ouverture circulaire: "Diffraction Losses in Radiometry and Photometry", W R Blevin, Metrologia, 6 (2), (1970)
2. Source et détecteur de taille finie: " Diffraction Corrections in Radiometry", W.H. Steel and al., JOSA, 62 (9), (1972)
3. Et les logiciels de conception optiques qui tiennent en général compte de la diffraction dans les bilans radiométriques.