

Optique Photographique

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Sommaire

I. Définition, résolution et format d'image

II. L'objectif

1. Point de vue
2. Les différents types d'objectif
3. Aberration chromatique et l'achromatisme
4. Les aberrations géométriques
5. Le flare

III. Le grandissement transversal

Chapitre IV : Optique de prise de vues

IV. Diaphragmes, pupilles et lucarnes

1. Diaphragmes d'ouverture et pupilles
2. Ouverture et nombre d'ouverture
3. Diaphragme de champ et lucarnes
4. Champ angulaire
5. Vignelage

V. Mise au point

1. Définition de la profondeur de champ
2. Distance optimale de mise au point
3. Expression de la profondeur de champ

VI. Fonction de transfert de modulation (FTM)

Chapitre IV : Optique de prise de vues

I. Définition, résolution et format d'image

Définition : nombre de pixels.

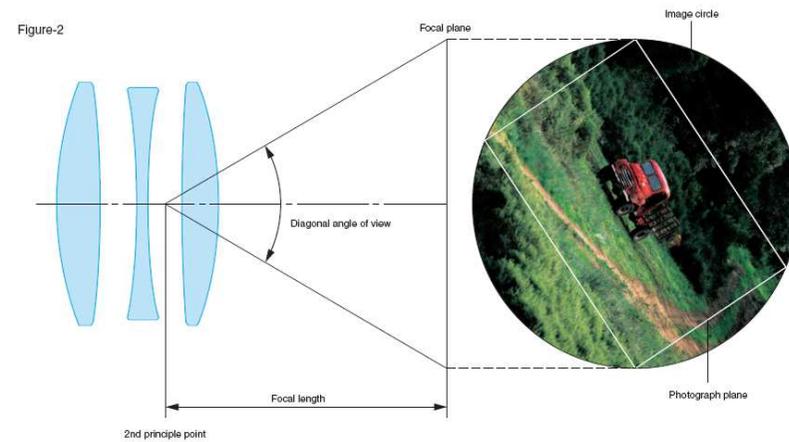
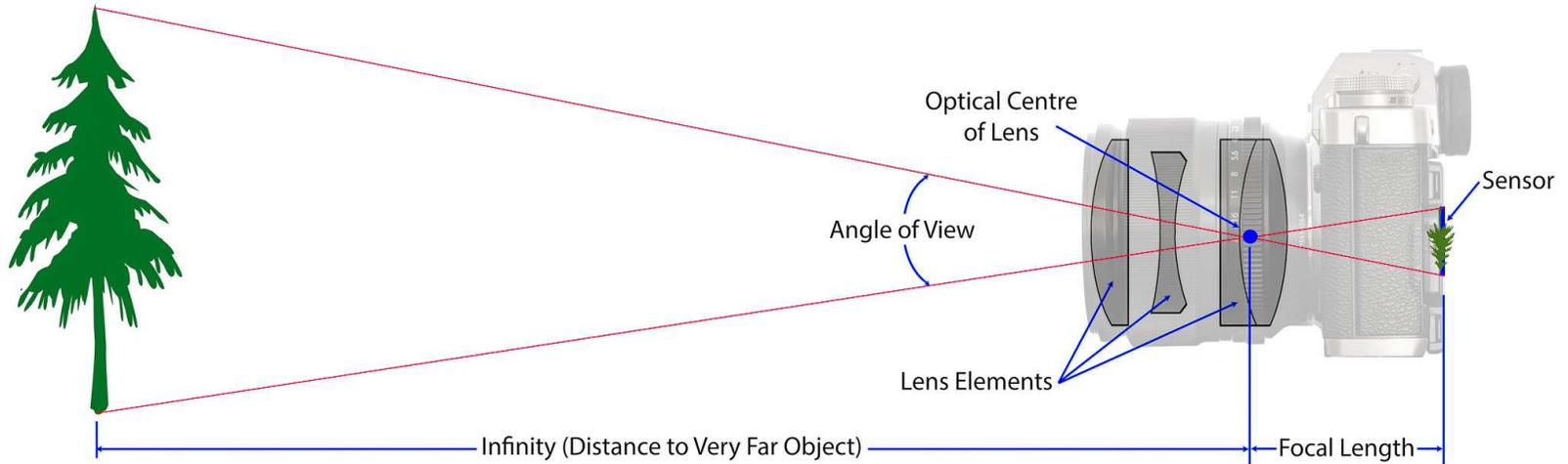
Résolution : nombre de pixels par unité de longueur (en pouce en général),
exemple : 300 PPI (ou PPP en français).

La résolution est déterminée par le pouvoir séparateur de l'œil et la distance optimale de visualisation (72 PPI en vidéo et 300 PPI pour une impression A4)

Format : Ratio longueur/hauteur (en général 3/2 en photo; 4/3 ou 16/9 en vidéo)

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Relation entre format et taille du capteur



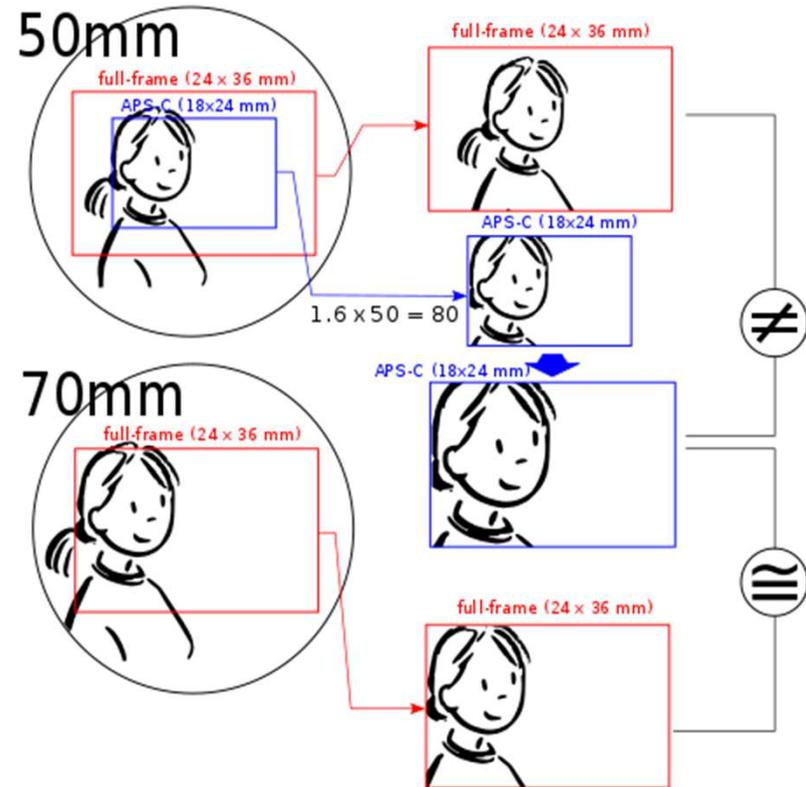
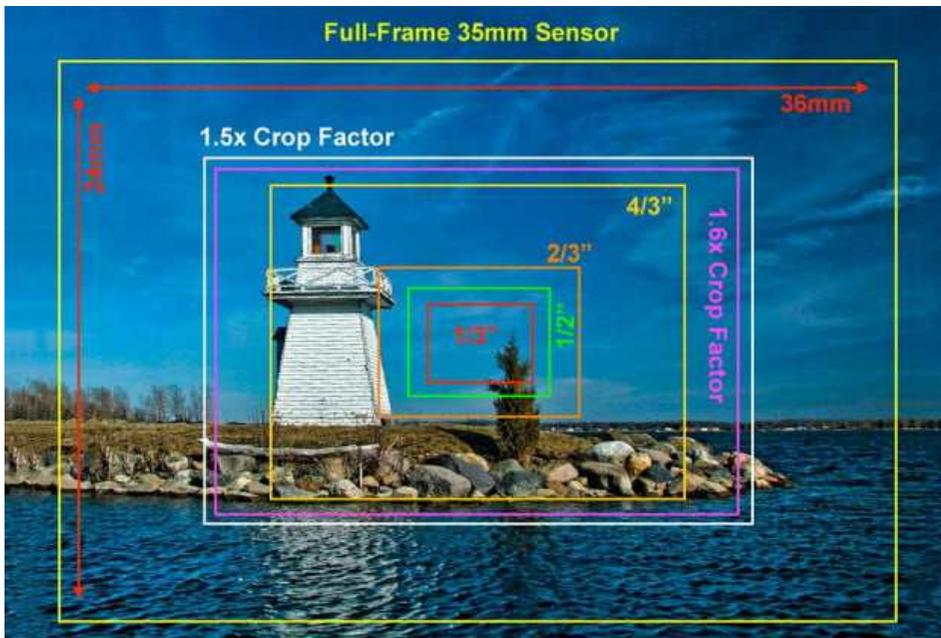
Chapitre IV : Optique de prise de vues

- Full frame:
le 24 x 36 (hauteur 24 mm, largeur 36 mm et diagonal 43,2 mm)
- Les APS, capteurs d'assez grande taille mais plus petits que le full frame, présents sur des reflex et hybrides de l'entrée de gamme au haut de gamme
Le format APS-H est 1,3 fois plus petit que le plein format.
Le format APS-C est 1,5 (Nikon, Sony, Fujifilm) à 1,6 fois (Canon) plus petit que le plein format.
- En vidéo:
le 1" (hauteur 9,6 mm, largeur 12,2 mm et diagonal 16 mm)
le 2/3" (hauteur 6,6 mm, largeur 8,8 mm et diagonal 11 mm)
le 1/2" (hauteur 4,8 mm, largeur 6,4 mm et diagonal 8 mm)



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Facteur de crop (recadrage)



Chapitre IV : Optique de prise de vues

II. L'objectif

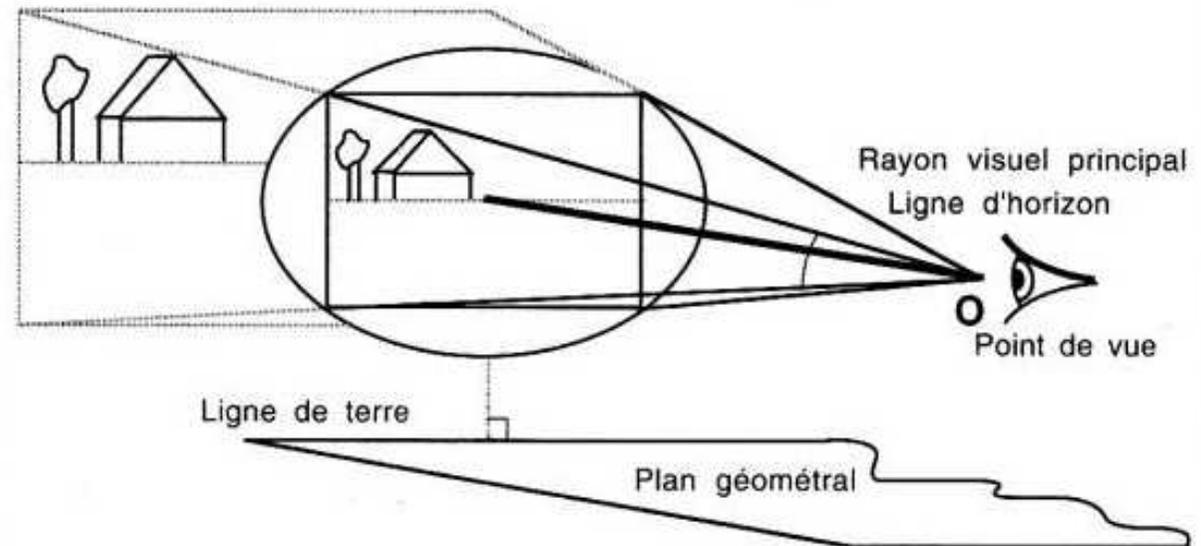


Chapitre IV : Optique de prise de vues

1. Point de vue

Le « tableau » (ou l'image) est dans un plan coupant perpendiculairement l'angle solide (le cône visuel) sous lequel l'observateur voit l'objet.

Léonard de Vinci a écrit:
« Une seule personne peut-être
à l'endroit le plus propice pour
voir le tableau. »

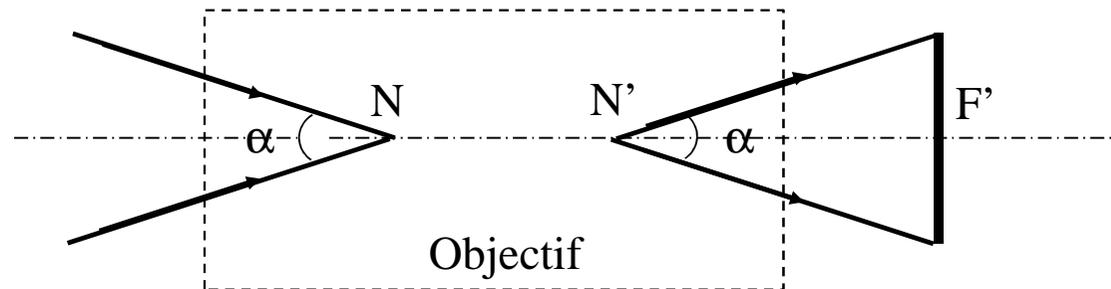


Chapitre IV : Optique de prise de vues

Le **point de vue**, également appelé **centre de projection**, est unique et traduit le point de vue du réalisateur.

L'**objectif** placé en un point de l'espace est donc **centre de perspective**. Son point nodal objet N (ou d'incidence) est le point de vue. L'image formée sur le support quelconque est un tableau inversé.

C'est du point nodal image N' (ou d'émergence) qu'est perçue rigoureusement la perspective enregistrée. Ce point donne la **vision orthoscopique**.



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Pour un objectif placé dans l'air et pour un objet placé à l'infini, la distance orthoscopique est donnée par la **distance focale de l'objectif** (les points nodaux sont conjugués). Ceci est respecté à la prise de vue.

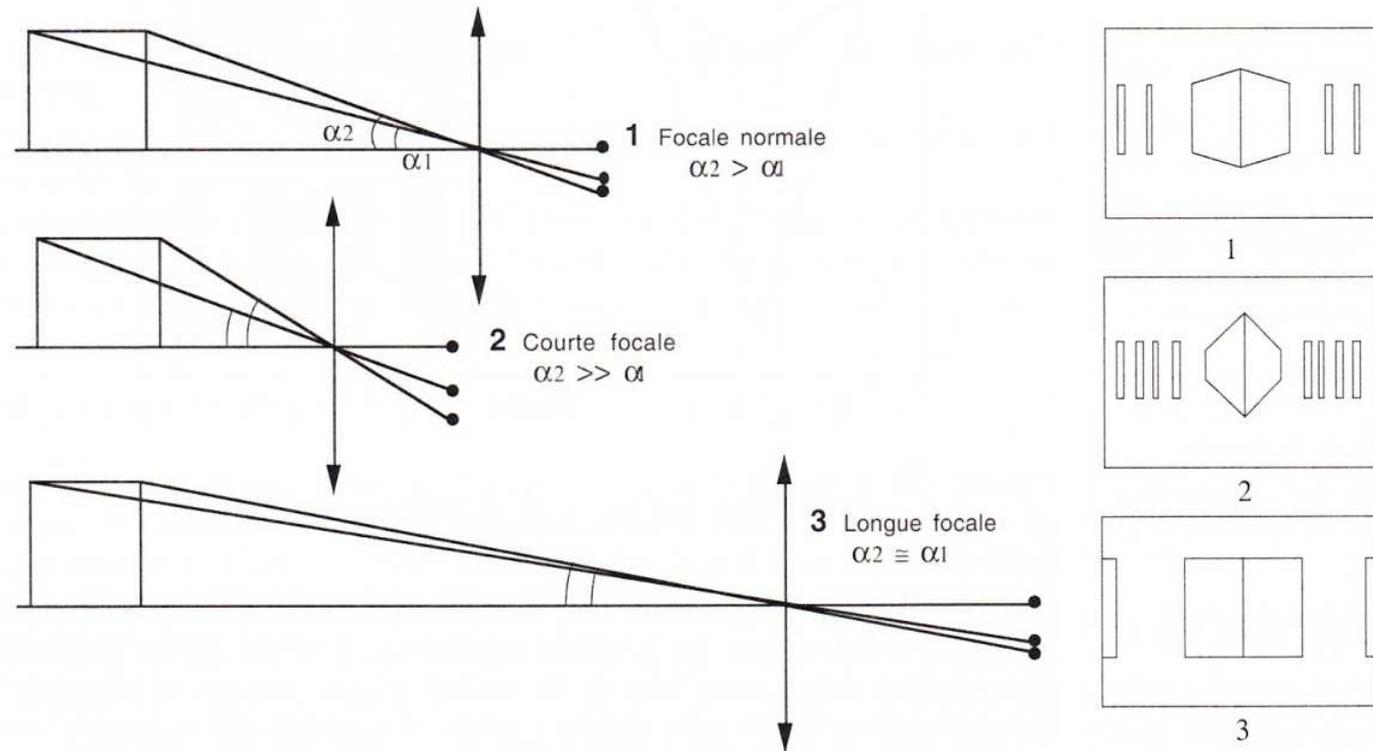
Cela signifie que pour observer une image, il **faut se placer à la distance orthoscopique**. Ceci est quasiment impossible. Toutefois à la projection, il y a un agrandissement. Le spectateur peut alors retrouver cette distance de centre de perspective.

C'est le lieu qui détermine le point de vue.

- D'un même lieu, le changement de focale ne change pas la perspective (cela change le grandissement).
- A cadrage égal, le changement de focale entraîne un changement de point de vue et donc de perspective car il y a changement de lieu.
 - courte focale: amplification de certaines courbures et portion de décors plus importante (grand angle de champ), de même la vitesse apparente semble rapide;
 - longue focale: accentue la frontalité et diminue la profondeur, la portion de décors est restreinte (angle de champ réduit), de même la vitesse semble réduite.

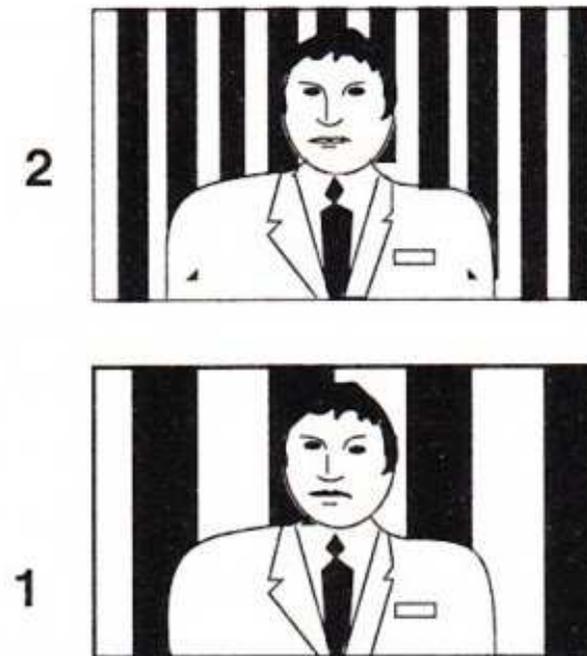
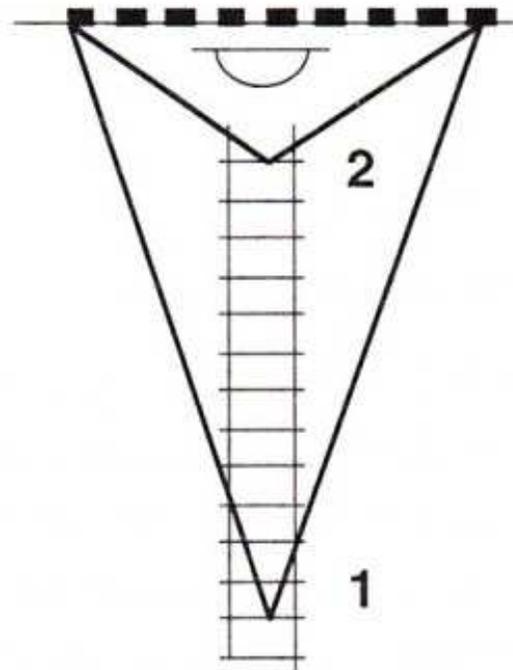
Chapitre IV : Optique de prise de vues

A cadrage égal d'un cube:



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Combinaison d'un travelling et d'un zoom



2. Les différents types d'objectif



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Les focales courtes ou « grand angle »

Les objectifs à **focale courte** fournissent des **plans larges** à distance faible car ils couvrent un **angle de champ important**.

Les fuyantes convergent davantage vers l'horizon, donnant une sensation de profondeur plus prononcée (*La profondeur de champ est étendue, on y reviendra*)

NB : ici le photographe s'est déplacé (« D » variable) pour obtenir une représentation du sujet à la même échelle (« O » et « I » constants).

Rappel :

O = taille de l'objet

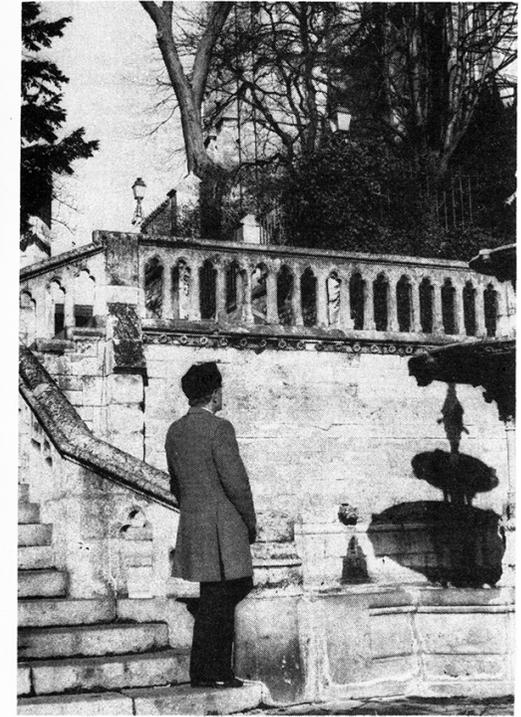
F = distance focale

D = distance objet – caméra (distance de mise au point)

I = taille de l'image = $O \cdot f / D$



Grand Angle



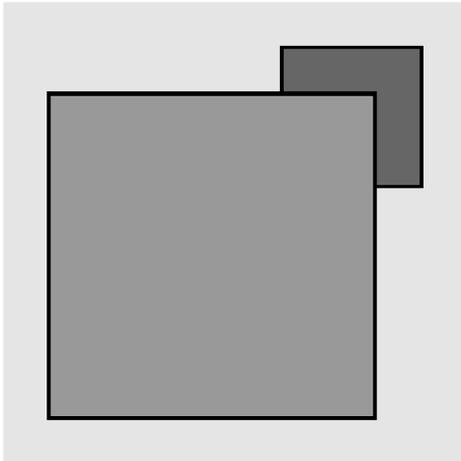
Focale « Normale »

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Les focales courtes ou « grand angle »

Le sujet semble plus petit qu'avec une focale normale

Les différents éléments du plan semblent plus éloignés les uns des autres



Grand Angle



Focale « Normale »

NB : ici le photographe s'est déplacé (« D » variable) pour obtenir une représentation du sujet à la même échelle (« O » et « I » constants).

Chapitre IV : Optique de prise de vues

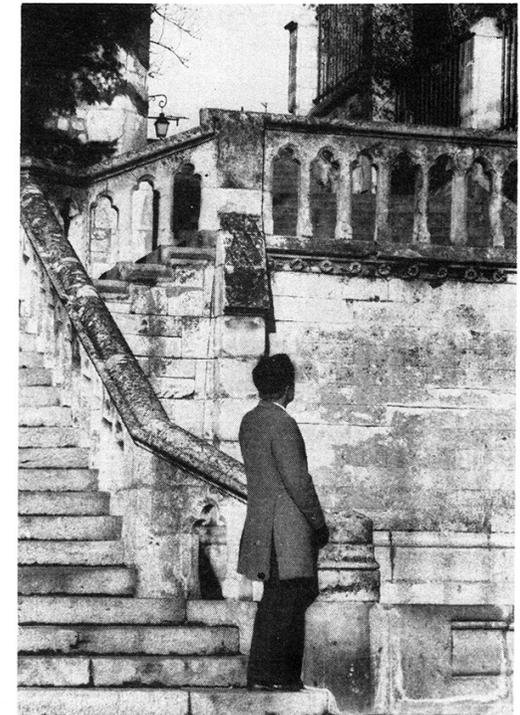
Les focales longues ou « téléobjectifs »

Les objectifs à focale longue fournissent des **plans serrés** à de grandes distances, car ils couvrent un **champ très étroit**. La perspective est écrasée et les fuyantes sont peu marquées (*La profondeur de champ est réduite*).

NB : ici le photographe s'est **déplacé** (« **D** » *variable*) pour obtenir une représentation du sujet à la **même échelle** (« **O** » et « **I** » *constants*).



Focale « Normale »



Focale longue

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Les focales longues ou « téléobjectifs »

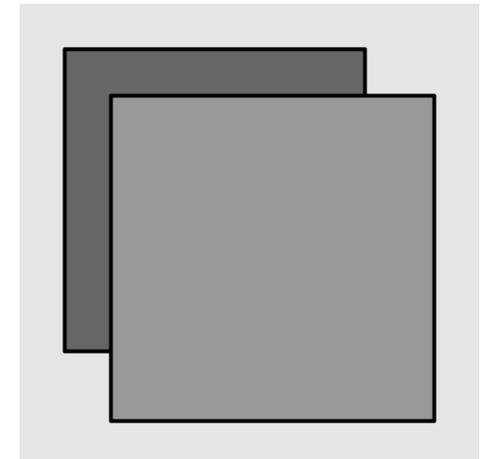
Le sujet est plus grand qu'avec une focale normale et les différents éléments du plan semblent plus proches les uns des autres



Focale « Normale »

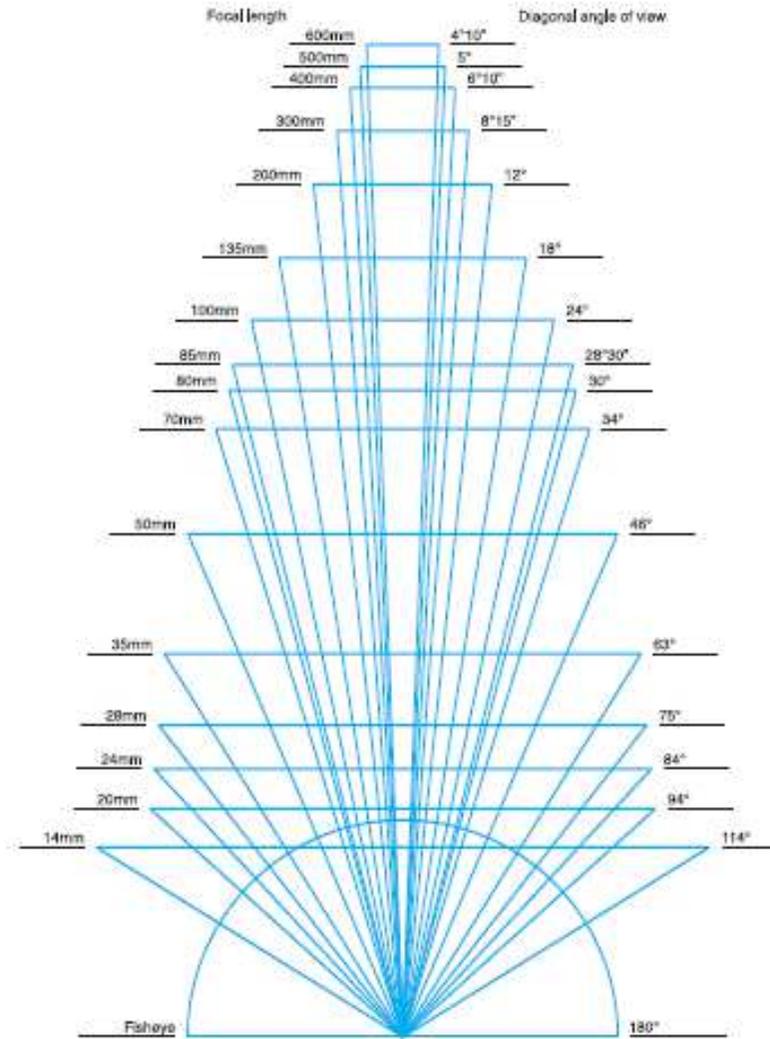


Focale longue



NB : ici le photographe s'est déplacé (« D » variable) pour obtenir une représentation du sujet à la même échelle (« O » et « I » constants).

Figure-3



Photographed using an EF 28-135mm f/3.5-5.6 IS USM



28mm



50mm



135mm

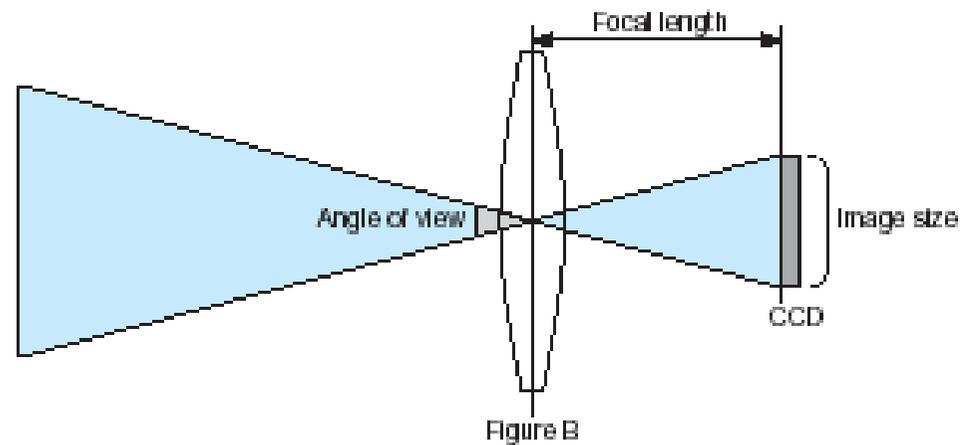
Chapitre IV : Optique de prise de vues

Angle de vue

L'angle de vue θ dépend :

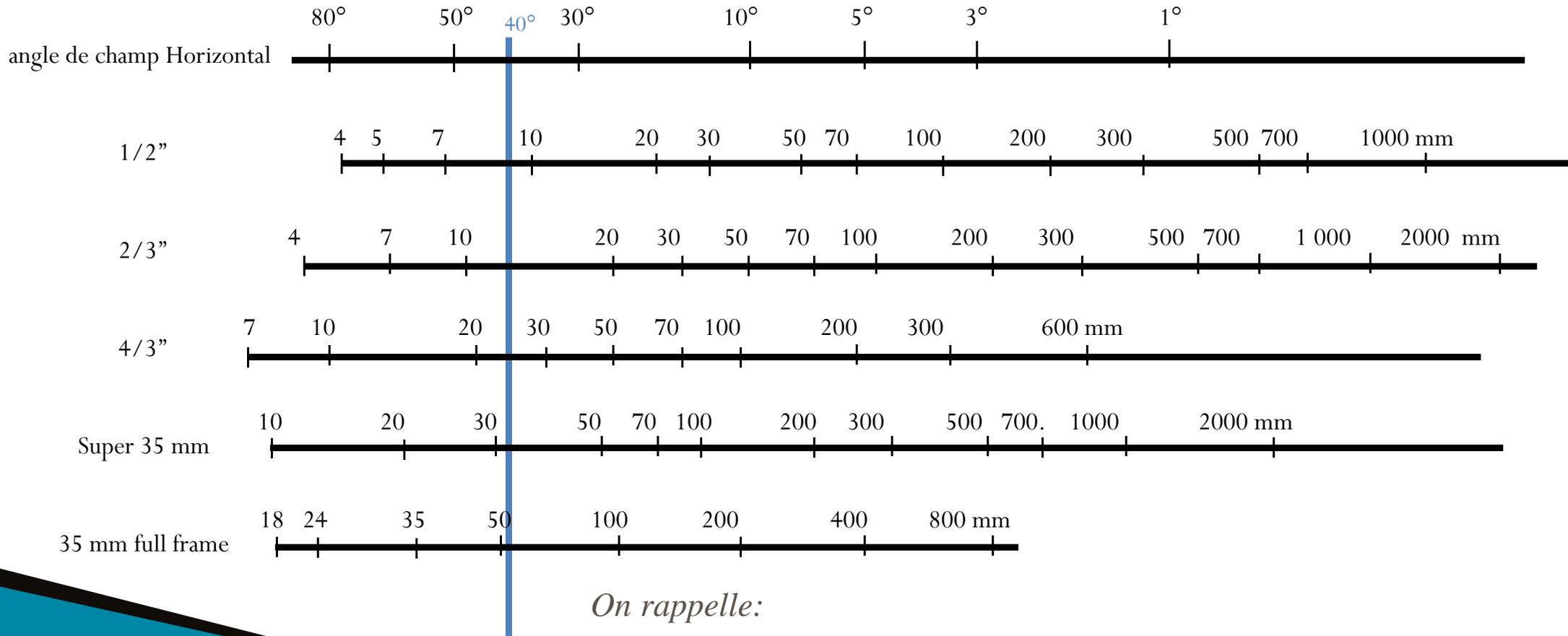
- de la dimension y du capteur et donc de l'image (dimension qui peut être horizontale, verticale ou diagonale)
- de la distance focale f de l'objectif

Il est donné par la formule suivante: $\theta = 2 \arctan (y / 2f)$



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Correspondances des distances focales pour un angle de vue (ou de champ)



On rappelle:

$$\text{Taille Image} / \text{Focale} = \text{Taille Objet} / \text{Distance Objet-Objectif}$$

Chapitre IV : Optique de prise de vues

- Perception nette sous un angle de 3°
- En prenant en compte les mouvement oculaires (sans rotation de la tête), on obtient un angle de 30° à 50° (une valeur moyenne de 45° est souvent retenue) pour la focale normale :

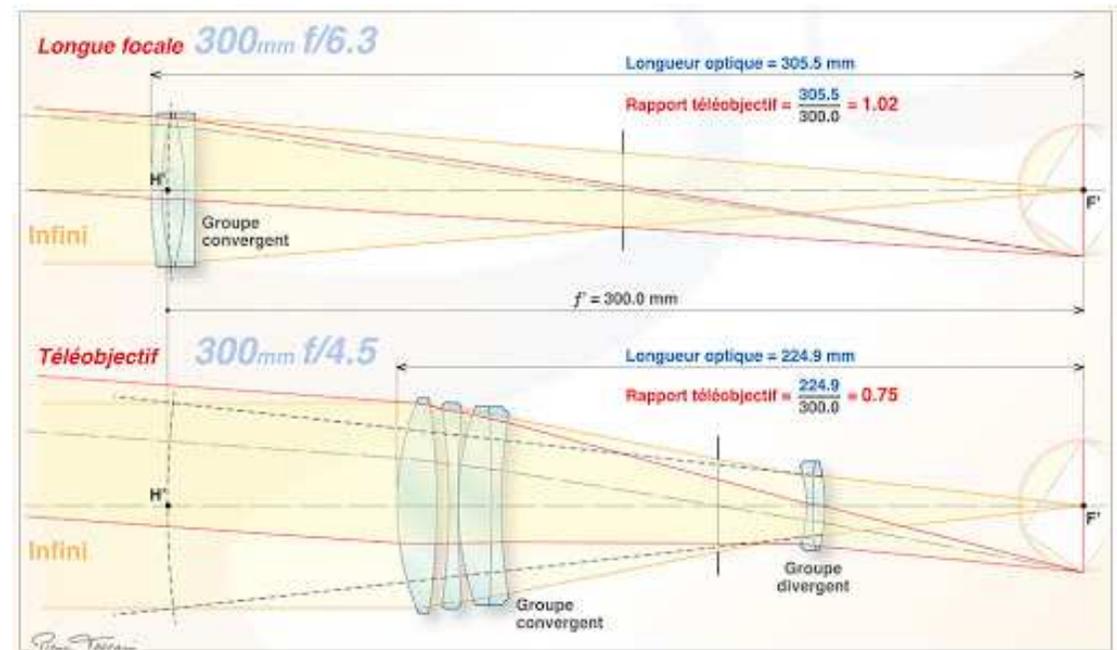
En photo 24x36, la focale normale est: 50 mm
En cinéma 35 mm, la focale normale est: 28 mm
En vidéo de 2/3", la focale normale est : 11 mm
En vidéo de 1/2", la focale normale est : 9 mm
En vidéo de 1/3", la focale normale est : 6 mm
En vidéo de 1/4", la focale normale est : 4,5 mm

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Téléobjectif

Il associe une **lentille convergente** (f_1') et une **lentille divergente** (f_2') de manière à ce que la **distance focale équivalente** f' du système soit **très importante au regard de l'encombrement** de celui-ci. L'encombrement est donné par :

$$\overline{O_1F'} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2F'} = e + \frac{f_2'(f_1' - e)}{f_2' + f_1' - e}$$



Chapitre IV : Optique de prise de vues

A- Téléobjectif pour appareil photographique

1) Une lentille mince convergente de centre O a pour distance focale f' et pour foyer image F' . Un objet réel AB est situé à une distance de la lentille très grande devant f' . A se situe sur l'axe optique et B dans le plan frontal passant par A. L'objet AB est vu depuis O sous un angle α . La lentille donne de AB une image A'B'.

a- Construire A'B' et exprimer la puissance optique $\overline{A'B'}/\alpha$ en fonction de f' .

b- L'objet AB est maintenant à une distance finie, son image par la lentille est toujours notée A'B'.

Exprimer le grandissement :

$$\gamma = \overline{A'B'} / \overline{AB}$$

en fonction de $\overline{F'A'}$ et de f' .

Chapitre IV : Optique de prise de vues

2) Un modèle simplifié de téléobjectif pour appareil photographique est un système centré comprenant une lentille mince convergente L_1 de distance focale image $f'_1 = 50$ mm, de foyer objet F_1 et image F'_1 et de centre optique O_1 et d'une lentille mince divergente L_2 de distance focale image $f'_2 = -25$ mm, de foyer objet F_2 et image F'_2 et de centre optique O_2 . La distance O_1O_2 est imposée: $O_1O_2 = e = 32$ mm.

a- Sur un schéma à l'échelle, placer L_1 , L_2 , F'_1 , F_2 et F'_2 .

b- En supposant un objet situé à l'infini, donner la position des images successives dans le système optique.

c- En utilisant la relation de conjugaison de Newton pour la seconde lentille, déterminer la position du foyer image du téléobjectif F' en calculant littéralement et numériquement $\overline{F'_2F'}$ puis $\overline{O_2F'}$.

d- En considérant un rayon lumineux incident parallèle à l'axe optique, tracer avec précision le trajet de ce rayon jusqu'en F' . En prolongeant virtuellement le rayon émergent en deçà de L_2 et de L_1 , montrer que F' peut être considéré comme le foyer image d'une lentille mince convergente L de centre optique O dont on donnera la position par simple construction géométrique. Par définition, $\overline{OF'}$ est la distance focale f' du téléobjectif.

Chapitre IV : Optique de prise de vues

- 3) Un objet AB est situé très loin du téléobjectif et est vu sans instrument sous un angle α . AB a pour image A_1B_1 par L_1 et A_1B_1 a pour image $A'B'$ par L_2 , le point A' étant au foyer F' .
- a- Construire A_1B_1 et $A'B'$.
 - b- Exprimer la puissance optique $\overline{A'B'}/\alpha$ en fonction de f'_1 et du grandissement γ_2 de la lentille L_2 .
 - c- En déduire la valeur numérique de f' .

B- Téléobjectif zoom d'appareil photographique

1) On reprend le téléobjectif précédent constitué de deux lentilles L_1 et L_2 à la différence que maintenant la distance e est réglable. La distance $O_1O_2 = e$ entre les deux lentilles est ainsi réglable entre $e_A = 30,9$ mm et $e_B = 33,3$ mm. On note F'_A et F'_B les positions du foyer image du téléobjectif et f'_A et f'_B ses distances focales image pour les valeurs e_A et e_B de e . En utilisant les résultats du A-, calculer $O_2F'_A$ et $O_2F'_B$.

2) Un zoom dont la partie optique correspond à la description précédente est monté sur un boîtier d'appareil photographique. Lors des prises de vue, l'image à travers le zoom de l'objet photographié se forme sur la pellicule disposée en P perpendiculairement à l'axe optique de l'objectif.

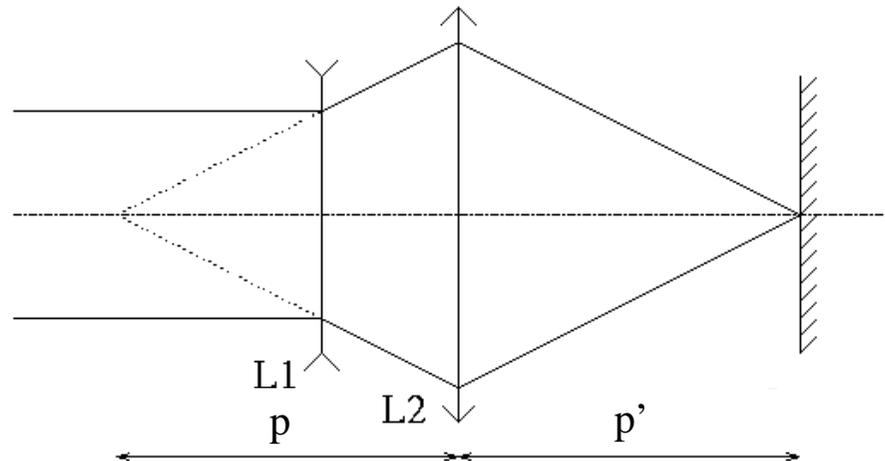
- a- Quelles opérations doit-on réaliser pour choisir la distance focale f' et effectuer la mise au point sur un objet ?
- b- Donner les valeurs de la distance O_2P pour e_A et e_B lorsque l'objet photographié est situé à l'infini. Calculer la taille dans les deux cas sur la pellicule d'un objet de 10 m de haut situé à 200 m.
- c- Donner les valeurs de la distance O_2P pour e_A et e_B lorsque l'objet photographié est situé à -8 m de la lentille L_1 . Calculer les grandissements γ_A et γ_B dans les deux cas.
- d- En faisant l'hypothèse que la distance F_A entre l'objet photographié et le foyer objet du zoom ne varie pas quand la distance focale f de celui-ci change, exprimer le rapport γ_A/γ_B en fonction de f'_A et f'_B .

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Cas particulier: l'objectif à focale variable (**zoom rétrofocus**).

Le principe repose sur le rétrofocus qui exploite le montage $4f$: $p' - p = d = 4f$
($4f$ correspond à la distance minimale d entre objet et image):

Autour de cette position $4f$ le grossissement est variable et égal à $p'/p = - | p' / p |$.



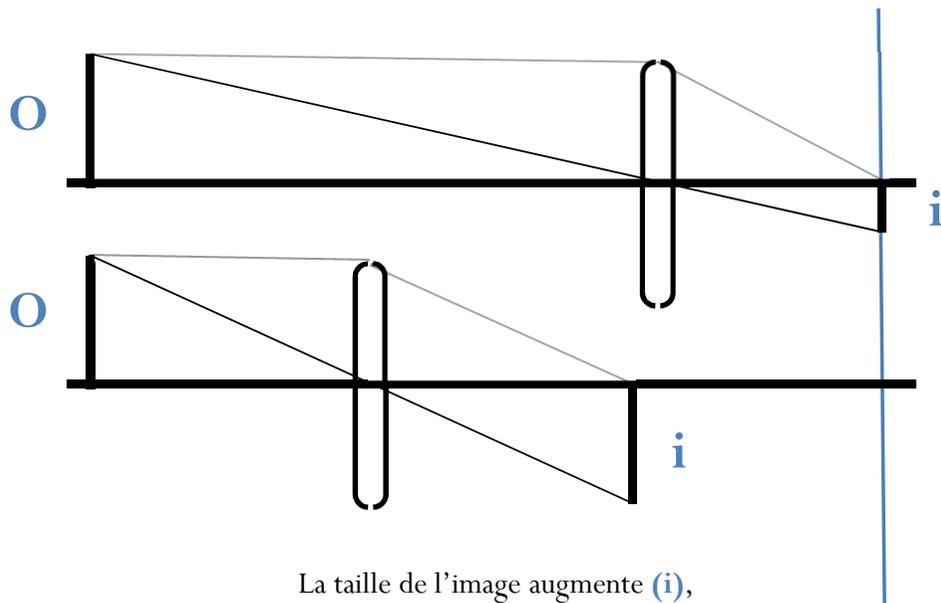
La focale équivalente est le produit de distance focale de L1 par le grossissement variable p'/p .

Chapitre IV : Optique de prise de vues

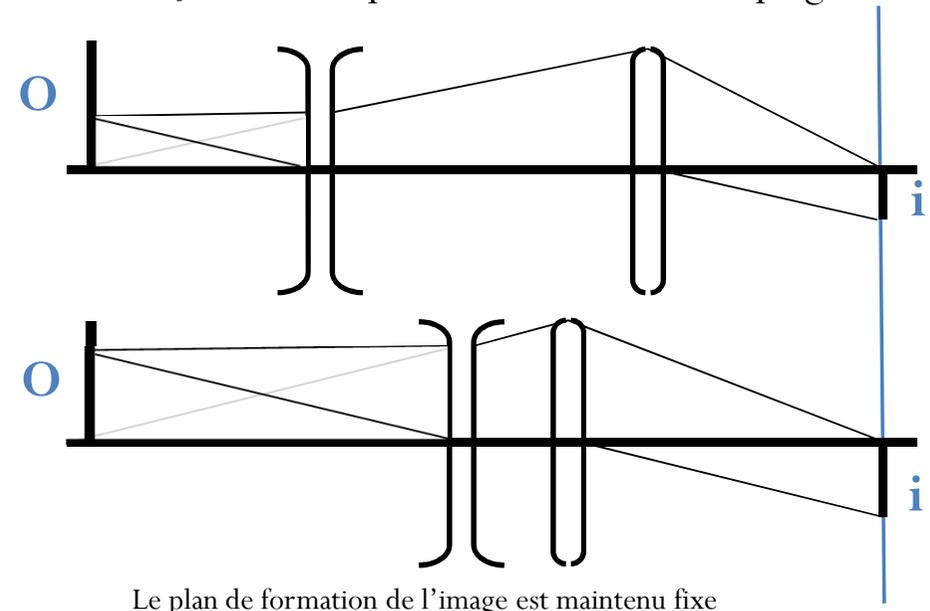
Le Zoom courte plage de focale

Il modifie de manière CONTINUE et LINEAIRE la focale d'un objectif \Rightarrow l'angle de champ capté

Dispositif mécanique qui assure le déplacement de certaines lentilles de l'objectif et de parcourir une certaine plage de focale.



La taille de l'image augmente (**i**),
mais le plan de formation de l'image se déplace.



Le plan de formation de l'image est maintenu fixe
quel que soit son agrandissement (**i**).

Il permet de passer à un plan large à un plan serré tout en conservant la mise au point.
En Intercalant une lentille divergente, entre l'objet et la lentille convergente, le plan de formation de l'image est maintenu fixe

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Le Zoom longue plage de focale

Beaucoup plus complexe, un Zoom en TV repose sur :

- Un groupe de lentilles appelé **VARIATEUR** permet de **changer l'agrandissement**
- Un groupe de lentilles appelé **COMPENSATEUR** **rattrape la mise au point** durant le changement de focale

Grand Angle le VARIATEUR part vers l'avant

Téléobjectif, le VARIATEUR part à l'arrière.

Fujinon HA 23x7.6 ERM (33 000 \$)

H = objectif 2/3"

A = Haute définition

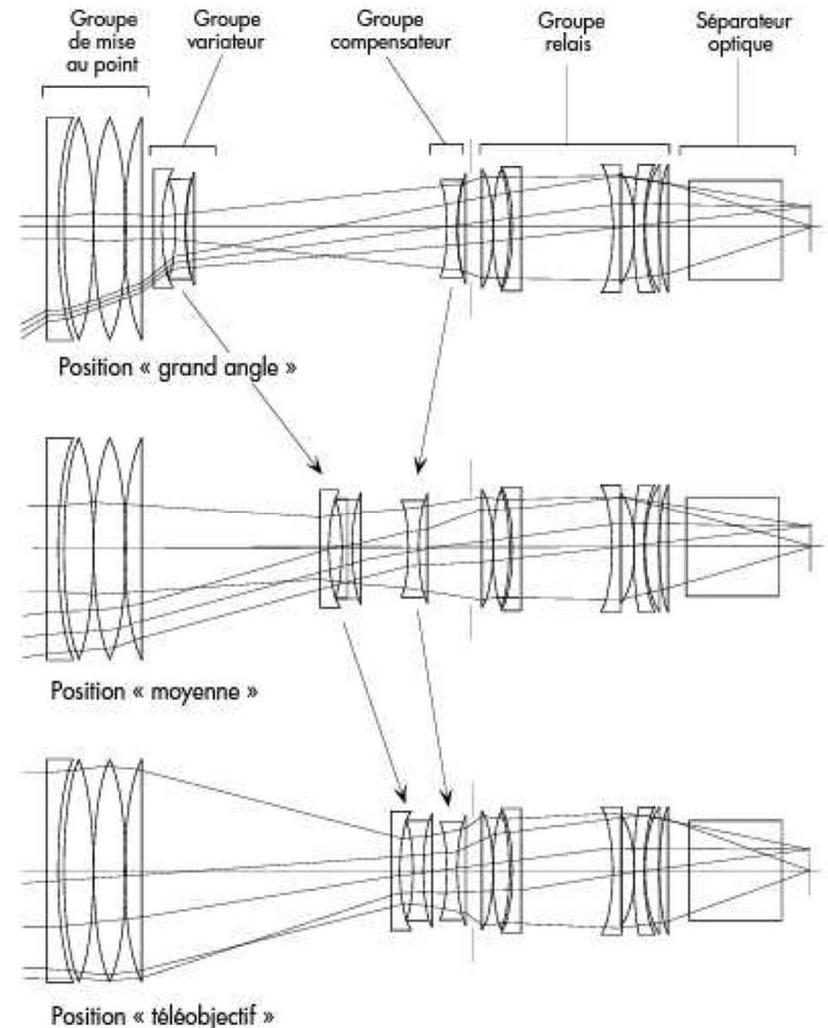
23 = rapport du zoom

7,6 = Valeur de la plus courte focale

(Focale la plus longue = $23 \times 7,6 = 175\text{mm}$)

E = doubleur de focale

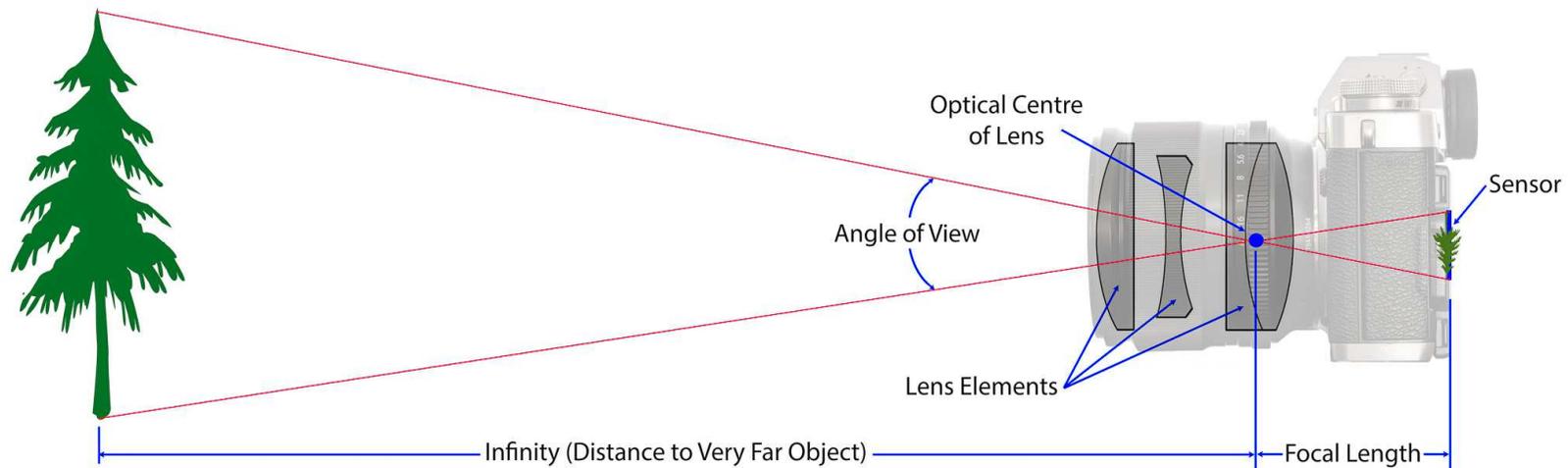
RM = zoom motorisé



Chapitre IV : Optique de prise de vues

III. Le grandissement transversal

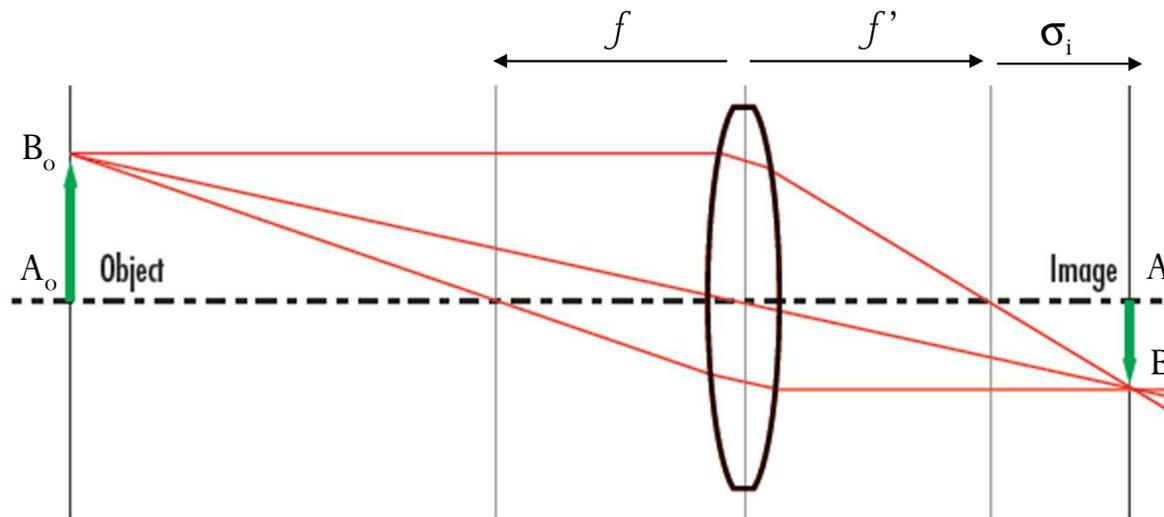
Il est composé d'un objectif assimilable à une lentille convergente de distance focale f' et d'une chambre noire dans laquelle est positionnée le capteur d'image (surface photosensible) dans le plan focal de l'objectif.



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Le capteur est en fait reculé d'une distance faible au regard de la distance focale de l'objectif, appelée **tirage optique** (ou back focus) noté σ_i qui permet d'obtenir un grandissement γ . Ce grandissement γ s'écrit :

$$\gamma = - \frac{\sigma_i}{f'}$$



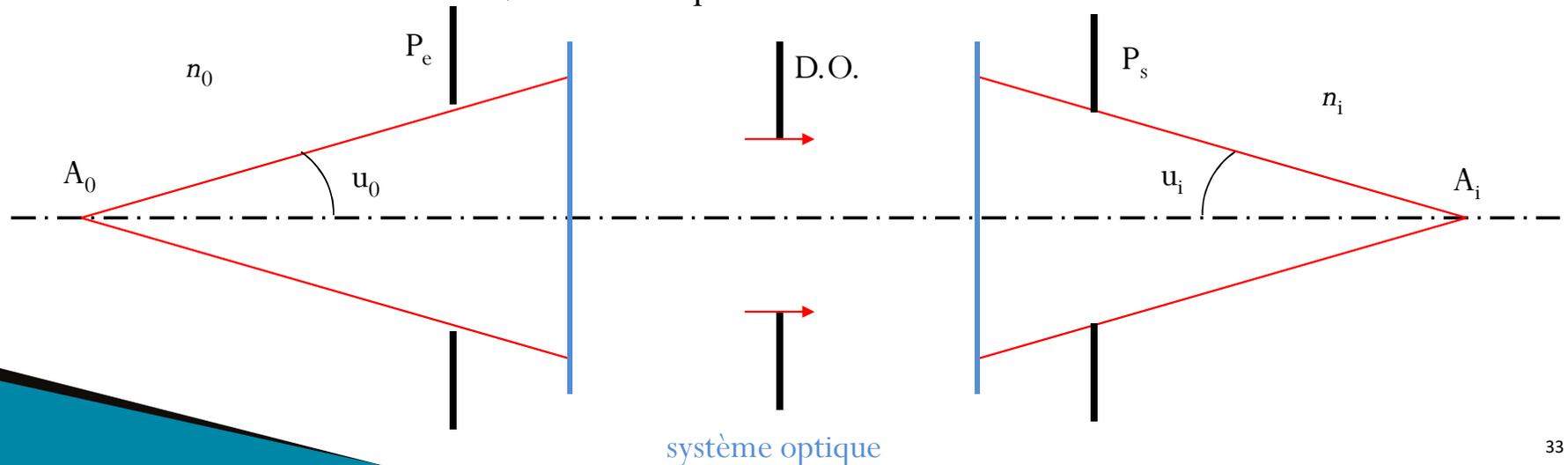
Pour une distance focale donnée, on augmente le grandissement en augmentant le tirage optique. On y parvient en intercalant une bague d'allonge (ou soufflet-allonge) entre l'objectif et le boîtier (cas de la macrophotographie).

Chapitre IV : Optique de prise de vues

IV. Diaphragmes, pupilles et lucarnes

1. Diaphragmes d'ouverture et pupilles

Le **diaphragme d'ouverture** (D.O.) est le diaphragme (élément matériel du système) qui **limite la quantité de lumière**. La **pupille d'entrée** P_e et la **pupille de sortie** P_s sont respectivement les conjugués objet et image du diaphragme d'ouverture. Les pupilles peuvent être réelles ou virtuelles. La pupille d'entrée, en définissant l'ouverture du faisceau incident, limite la capacité de l'instrument à recueillir de la lumière.



Exemple : Diaphragme d'ouverture et pupille d'un appareil optique

Un système centré est constitué de deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 , de centres optiques O_1 et O_2 , de distances focales f'_1 et f'_2 . On a: $O_1O_2 = 5$ cm, $f'_1 = 6$ cm et $f'_2 = 3$ cm.

La monture de L_1 est un disque M_1 de rayon $r_1 = 3$ cm, celle de L_2 , est un disque M_2 , de rayon $r_2 = 1,5$ cm. Soit un point objet S sur l'axe optique, situé à 12 cm en avant de L_1 .

1) Quelle est la position, par rapport à O_1 , de l'image S_1 de S donnée par L_1 .

Calculer les angles sous lesquels sont vus, depuis le point S_1 , les disques délimitant les montures de L_1 et L_2 . En déduire laquelle des deux montures joue le rôle de diaphragme d'ouverture, noté DO. Le diaphragme d'ouverture est l'ouverture qui limite le faisceau de rayons utiles à la formation de l'image finale de S donnée par l'appareil, donc qui limite la quantité de lumière sortant de l'appareil.

Chapitre IV : Optique de prise de vues

2a) On considère M'_2 , dont l'image par L_1 est la monture M_2 . Soit O'_2 le centre de M'_2 et r'_2 son rayon. Calculer SO'_2 et r'_2 . Retrouver la position du diaphragme d'ouverture en comparant les angles sous lesquels sont vues, depuis le point S , M'_2 et la monture M_1 de L_1 .

2b) On appelle "pupille d'entrée" de l'appareil optique le conjugué du DO par les éléments optiques qui précèdent le DO (dans l'exemple de la question précédente, la pupille d'entrée était M'_2).

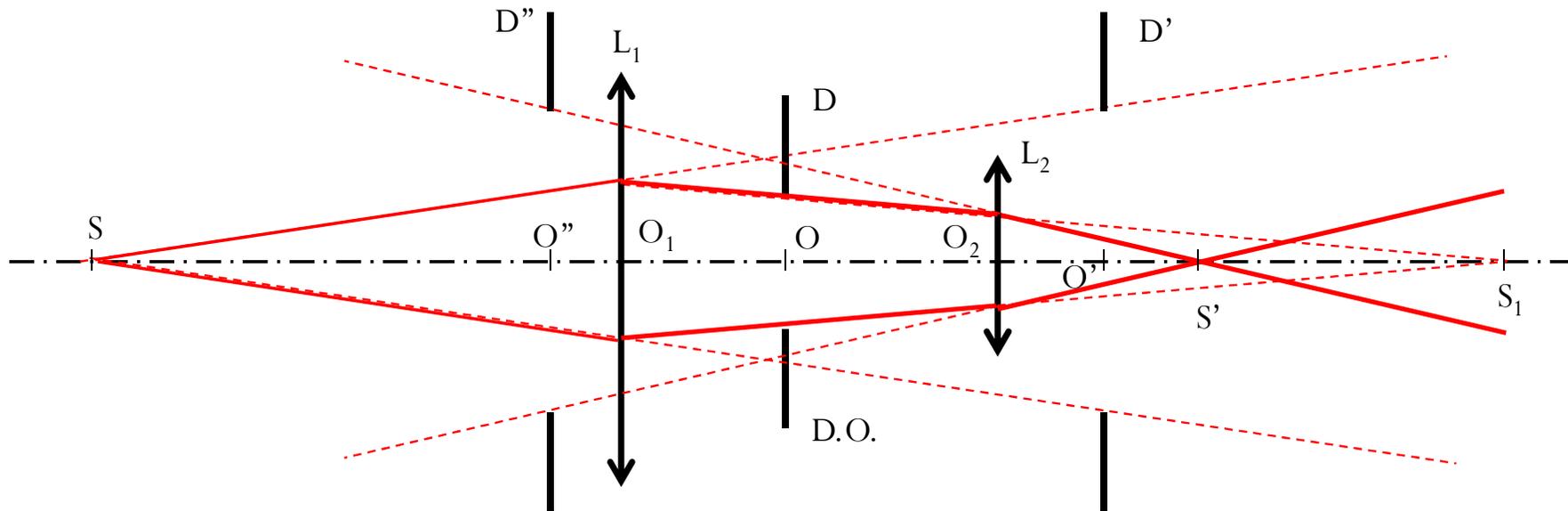
Déduire de la question **2a)** une méthode générale permettant de déterminer le DO et la pupille d'entrée d'un système optique complexe comportant un certain nombre de lentilles et plusieurs diaphragmes, ouvertures circulaires centrées sur l'axe optique; Les diaphragmes sont les montures des lentilles et, éventuellement, des ouvertures centrées, pratiquées dans des écrans disposés ailleurs que sur les lentilles.

3a) Reprendre les questions 1) et 2a) en envisageant le même doublet de lentilles, auquel on a rajouté un diaphragme D , centré, de centre O et de rayon $r = 1$ cm, placé 2 cm en avant de L_2 .

3b) Calculer alors la position et la taille de la pupille de sortie, qui est l'image du DO donnée par les éléments de l'appareil qui le suivent.

Chapitre IV : Optique de prise de vues

4) faire un schéma à l'échelle, en envisageant la marche d'un rayon extrême du faisceau sortant de l'appareil et en faisant apparaître les pupilles d'entrée et de sortie. Quelle est la propriété de la pupille de sortie?



Chapitre IV : Optique de prise de vues

2. Ouverture et nombre d'ouverture

On caractérise généralement l'ouverture par :

- Soit l'**ouverture numérique** (O.N.) lorsque l'objet est rapproché comme dans un microscope ou une fibre optique :

$$\text{O.N.} = n_o \sin u_o$$

- Soit le **nombre d'ouverture** :

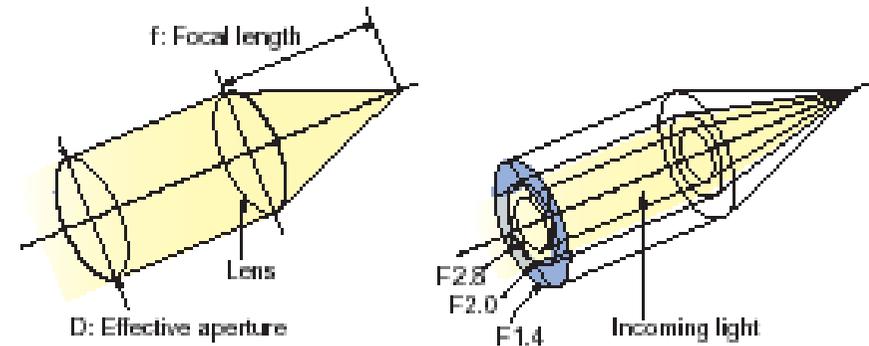
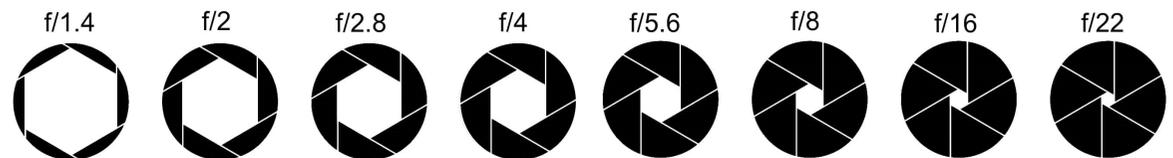
$$\text{N.O.} = \frac{f'}{D}$$

où f' est la focale du système et D le diamètre de la pupille d'entrée

le nombre d'ouverture s'appelle également **ouverture relative N**. L'ouverture relative N caractérise la luminosité d'une lentille ou d'un objectif, c'est-à-dire la quantité de lumière qu'elle laisse passer.

L'ouverture relative N suit une progression géométrique de raison $\sqrt{2}$ de sorte que le passage d'une valeur à une autre corresponde à un doublement de la quantité de lumière :

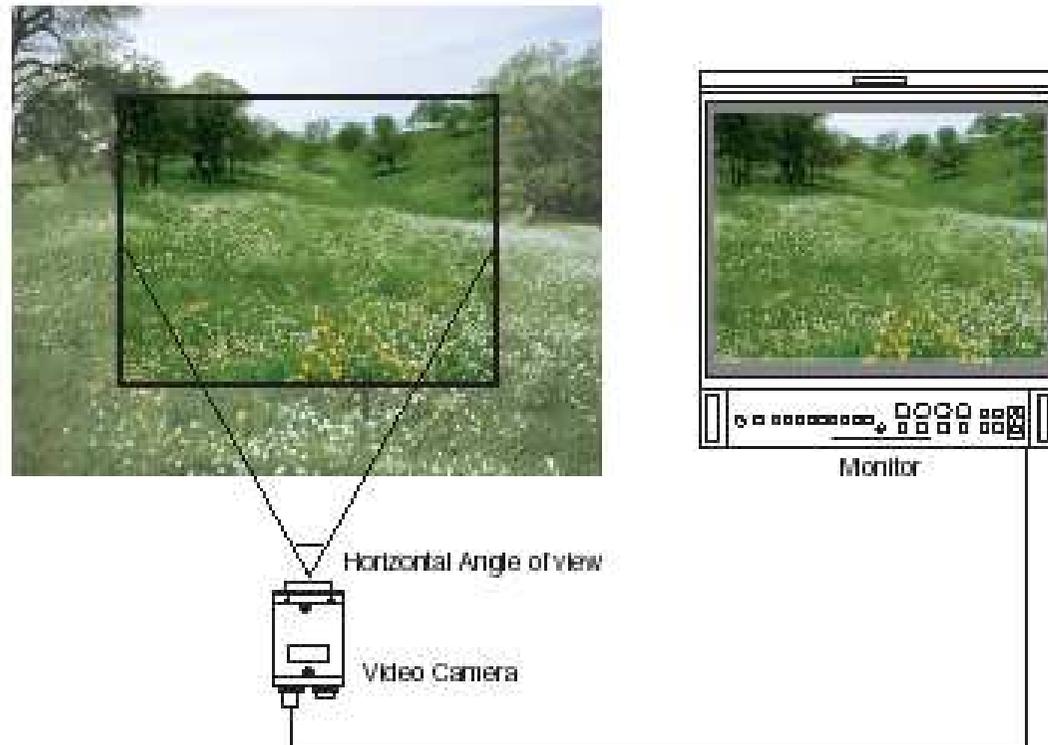
N = 1 1,4 2 2,8 4 5,6 8 11 16 22...



Chapitre IV : Optique de prise de vues

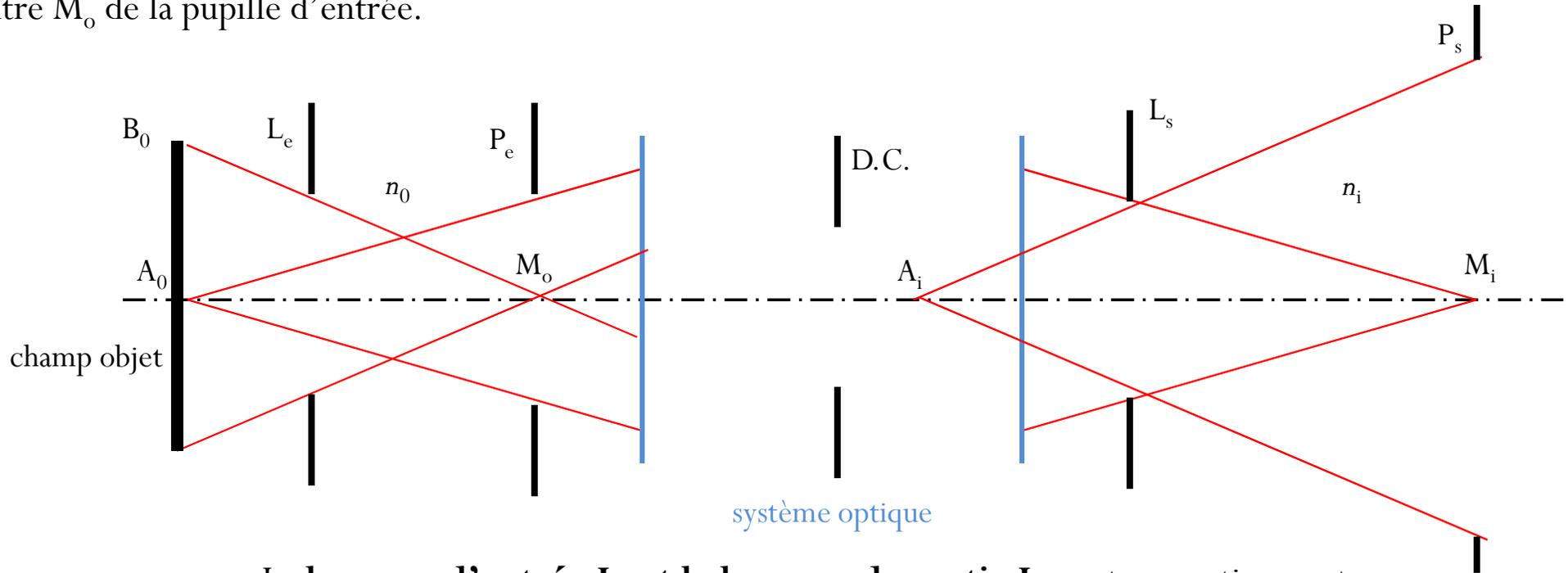
3. Diaphragme de champ et lucarnes

Il est souvent important de connaître la taille maximale de la portion de l'objet dont le système optique donne une image (champ).



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Le **diaphragme de champ** (D.C.) est le diaphragme qui définit le pinceau de rayons principaux passant par le centre M_o de la pupille d'entrée.

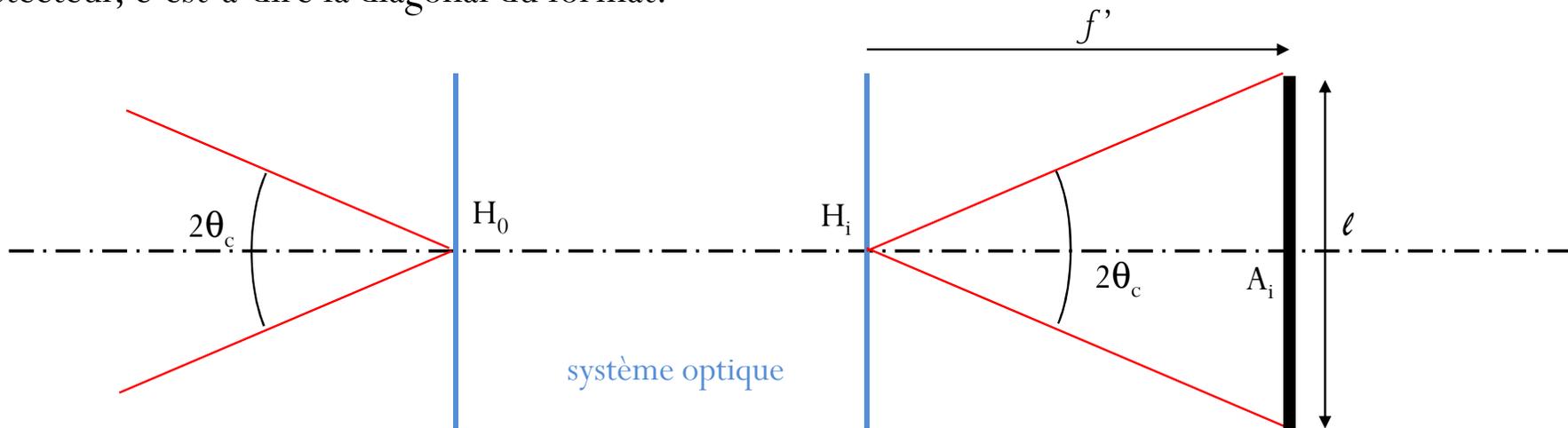


La lucarne d'entrée L_e et la lucarne de sortie L_s sont respectivement les conjuguées objet et image du diaphragme de champ.

Chapitre IV : Optique de prise de vues

4. Champ angulaire

Le **champ angulaire, ou champ de netteté**, est la portion conique de l'espace objet dont l'objectif donne une **image nette**. On exprime par l'angle $2\theta_c$ du cône qui a pour sommet le point nodal objet. L'angle de champ est le même à l'avant et à l'arrière du système optique. Ce champ est limité par la dimension maximale ℓ du détecteur, c'est-à-dire la diagonale du format.

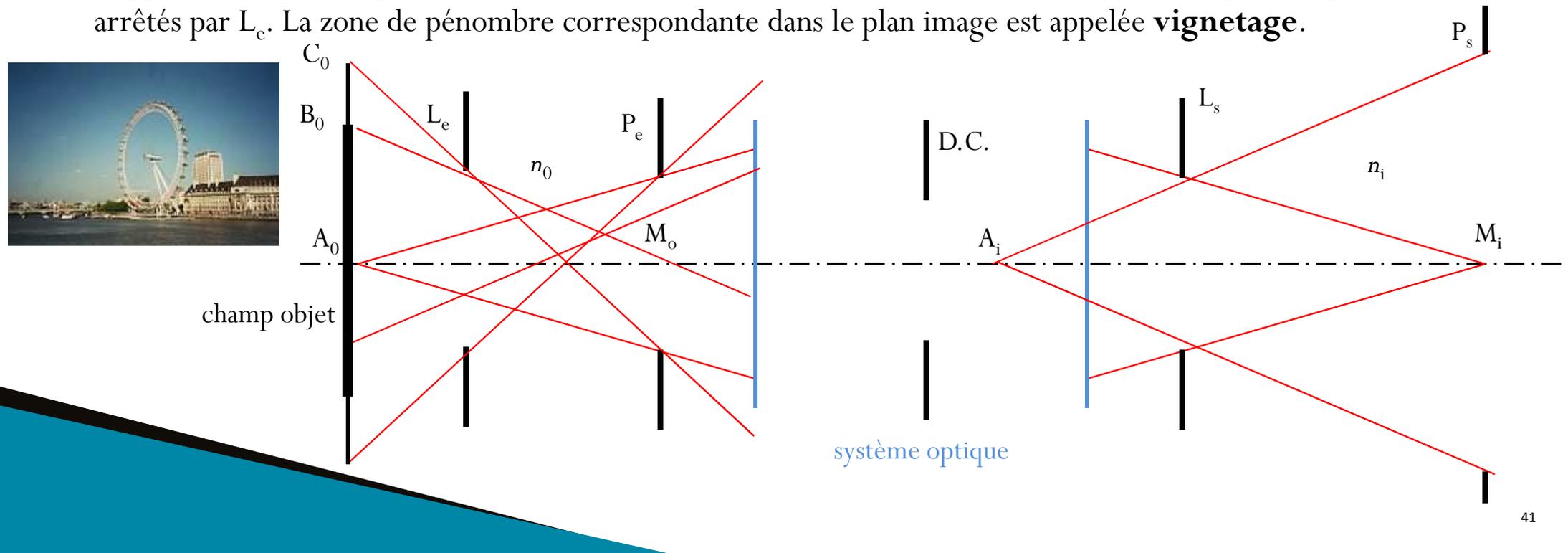


$$\text{comme } \overline{H_i A_i} \approx f' \text{ alors } \tan \theta_c = \frac{\ell}{2f'}$$

Chapitre IV : Optique de prise de vues

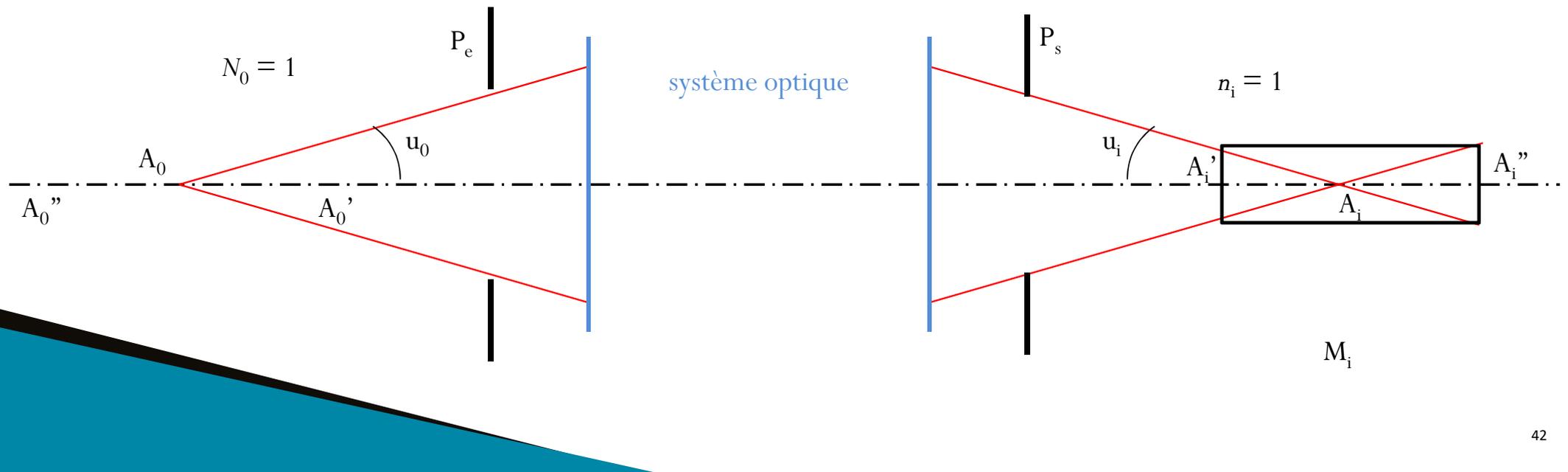
5. Vignetage

Les points situés entre les cercles de centre A_o et de rayons A_oB_o et A_oC_o (C_o étant défini par le rayon qui s'appuie sur le bord supérieur de L_e et sur le bord inférieur de P_e) envoient des pinceaux qui sont partiellement arrêtés par L_e . La zone de pénombre correspondante dans le plan image est appelée **vignetage**.



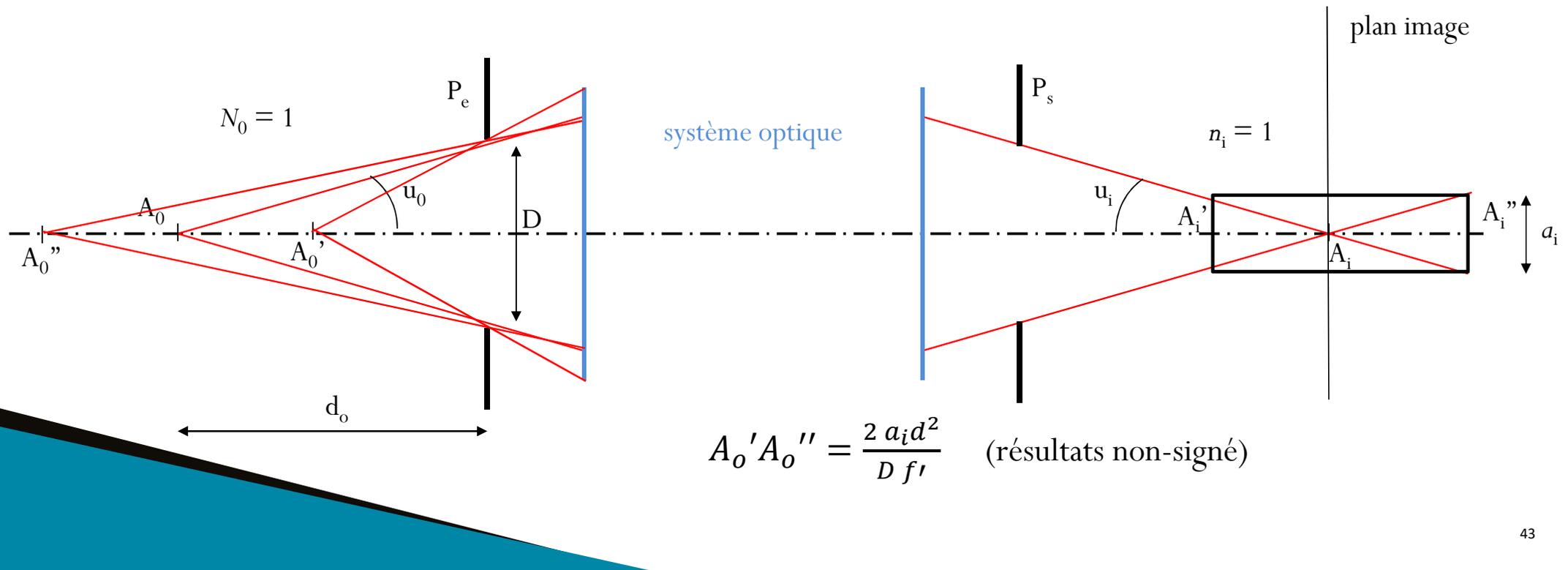
Chapitre IV : Optique de prise de vues

V. Mise au point et profondeur de champ



Chapitre IV : Optique de prise de vues

La **profondeur de champ** est la distance $A_o' A_o''$ qui sépare les deux points extrêmes A_o' et A_o'' dont les images sont encore vues nettement sur le détecteur (a_i est le grain du capteur).



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Elle dépend de:

- la largeur de l'iris (nombre d'ouverture)
- le diamètre du cercle de confusion
- la distance focale de l'objectif
- La distance de l'objet



Grande profondeur de champ



Faible profondeur de champ

La profondeur de champ
en fonction
de la distance focale

16mm



24mm



50mm



200mm



135mm



La profondeur de champ
en fonction
de l'ouverture

f/1.4



f/2.8



f/5.6



f/22



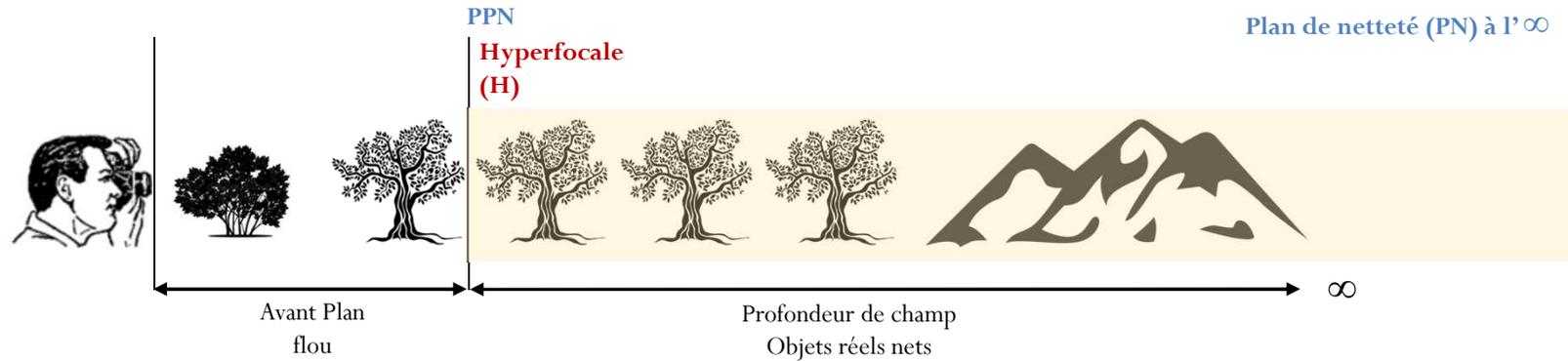
f/11



Chapitre IV : Optique de prise de vues

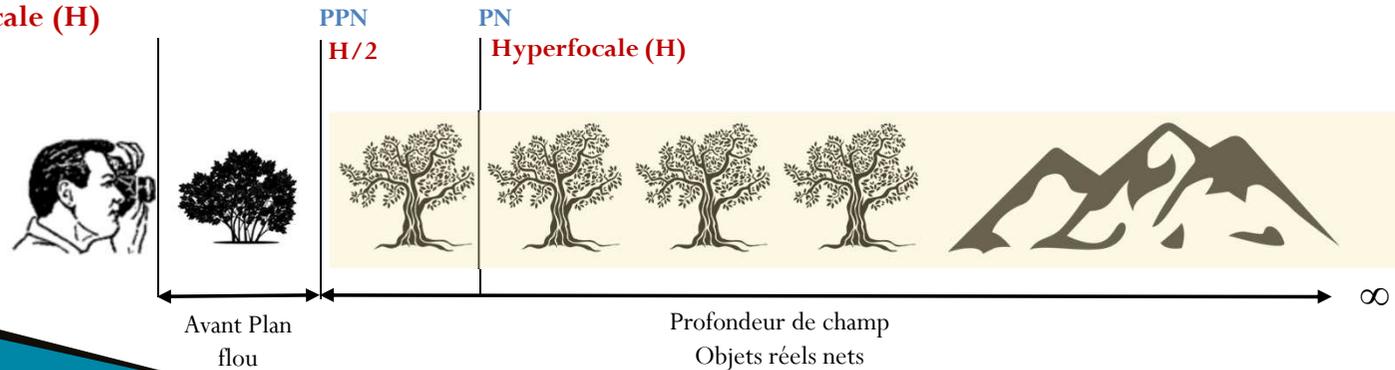
La **distance Hyperfocale (H)** est la distance à partir de laquelle tout est net sur l'image avec une mise au point sur l'Infini

Point sur l'infini



Si le point est fait à la **distance Hyperfocale (H)** on est net depuis la **moitié de cette distance (H/2)** jusqu'à l'Infini

Point sur l'Hyperfocale (H)



Chapitre IV : Optique de prise de vues

La **distance Hyperfocale (H)** se calcule pour chaque objectif en fonction de :

- la focale (f)
- l'ouverture (N)
- Le diamètre du cercle de confusion ($\emptyset Cdc$)

$$H = f^2 / (N \cdot \emptyset Cdc)$$

Exemple :

Objectif 2/3" ($\emptyset Cdc = 0,0089$ mm)

$f = 35$ mm

$N = 5,6$

$$H = 35^2 / (5,6 \cdot 0,0089) = 2460 \text{ mm} = 24,6 \text{ m}$$

Si le point est fait à 24,6m la profondeur de champ ira de 12,3m à l'Infini

Plus le format est grand, plus H est élevée, plus la profondeur de champ est faible

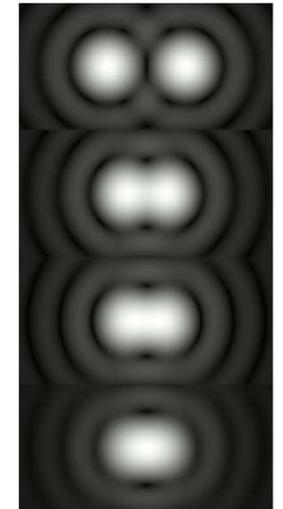
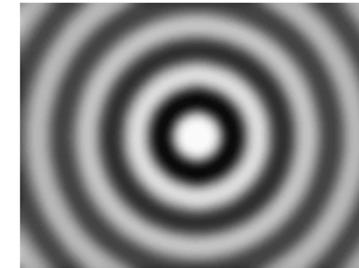
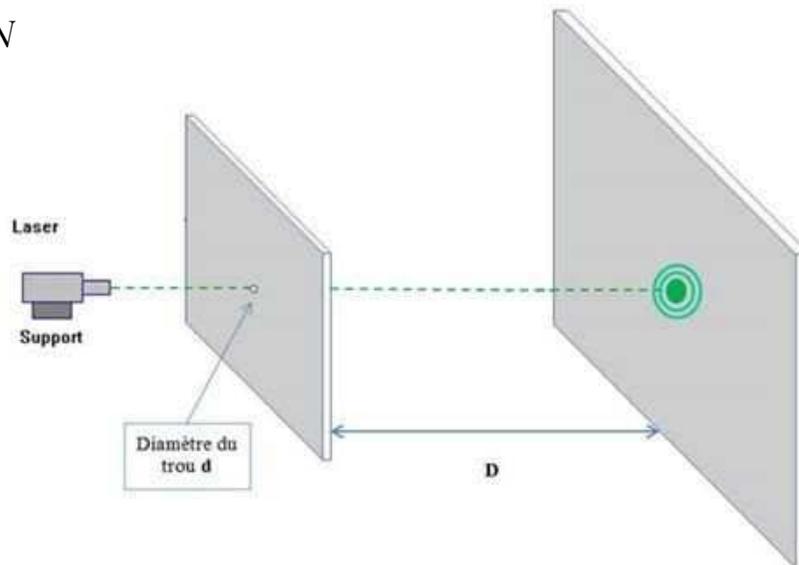
Chapitre IV : Optique de prise de vues

VI. Fonction de transfert de modulation (FTM)

1. Diffraction de la lumière – Cercle d’Airy

Le rayon r du disque d’Airy est fonction du nombre d’ouverture N et de la longueur d’onde λ :

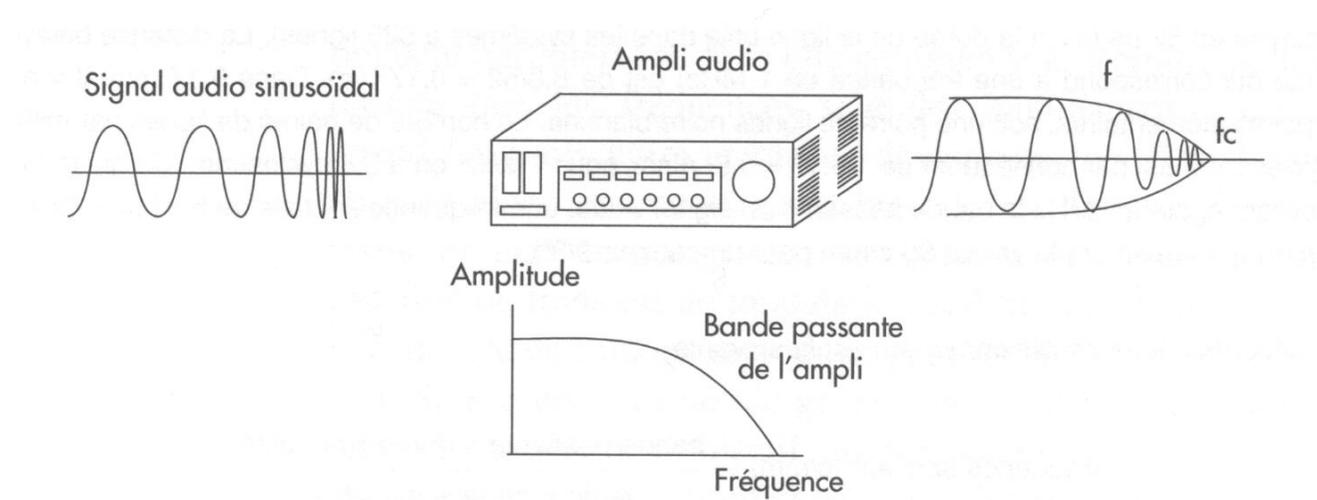
$$r = 1,22 \cdot \lambda \cdot N$$



Chapitre IV : Optique de prise de vues

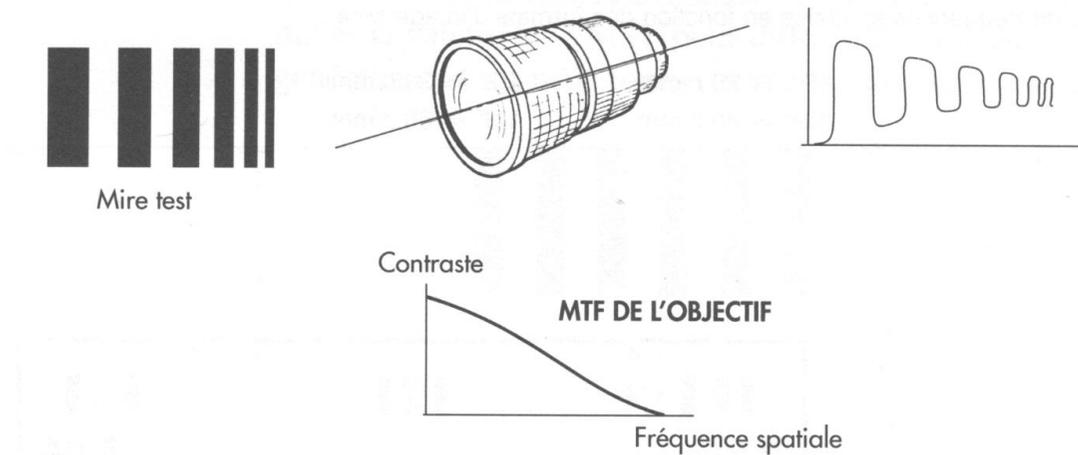
2. Fonction de transfert de modulation (FTM)

Analogie à un système électronique (analogique)



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Réponse d'un système optique à des fréquences spatiales différentes.



La fonction de transfert de modulation permet ainsi d'évaluer la capacité d'un objectif à transmettre au capteur les détails de l'objet avec un contraste élevé.

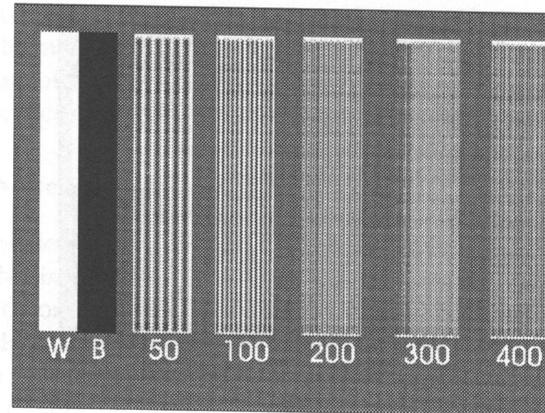
Chapitre IV : Optique de prise de vues

Pour effectuer la mesure, on utilise une mire présentant un nombre de paires de pixels par millimètre (fréquence spatiale) variable.

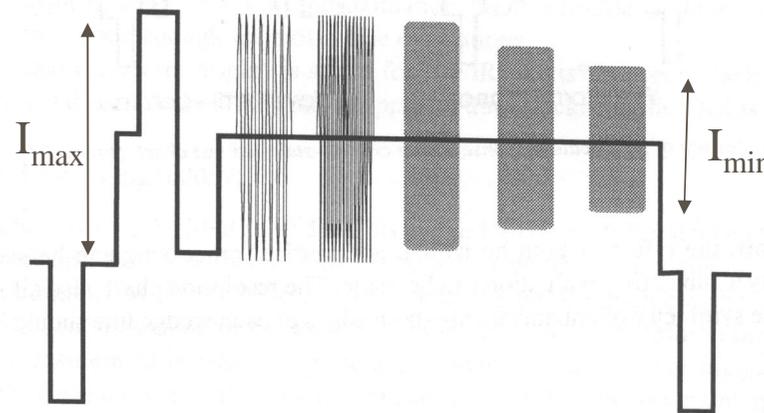
Fonction de Transfert de Modulation (FTM)
(Modulation Transfer Function – MTF)

Valeur de MTF (%):

$$MTF = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



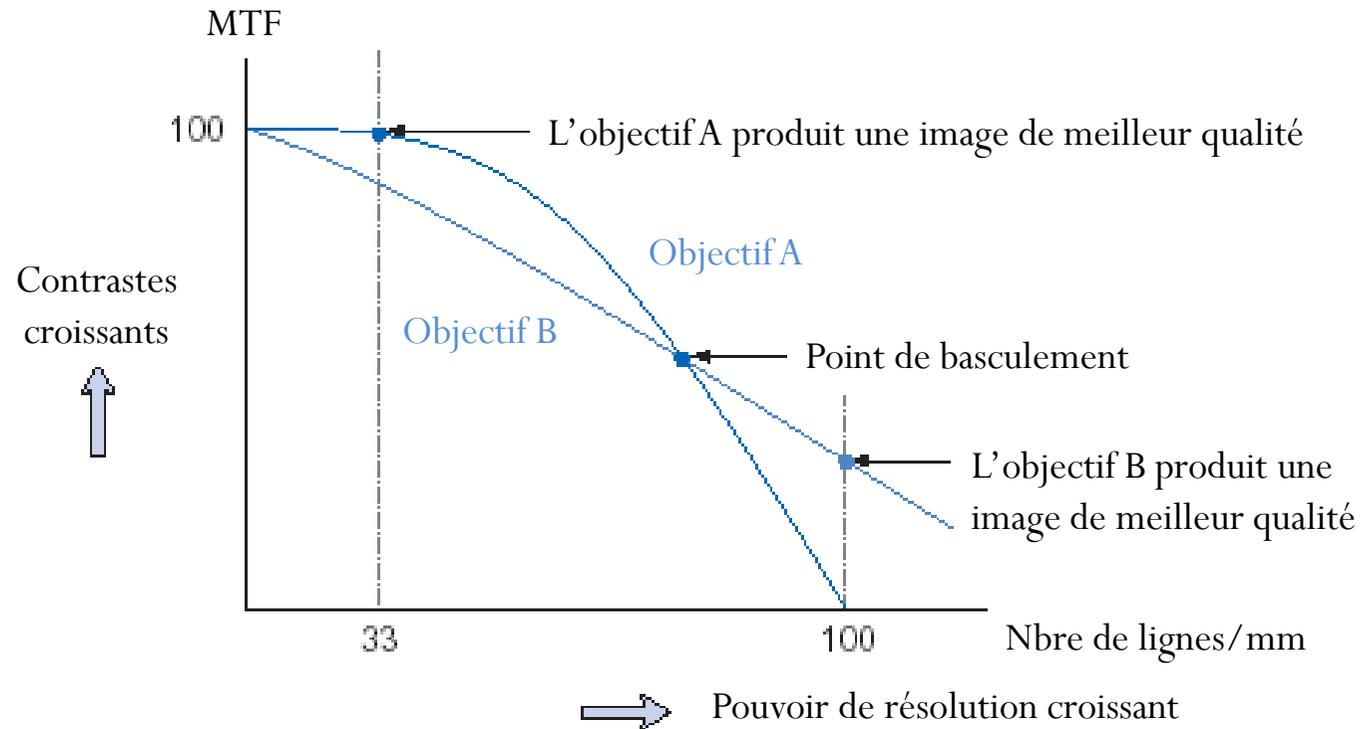
Mire



Signal vidéo analogique

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Comparaison des performances de différents systèmes optiques



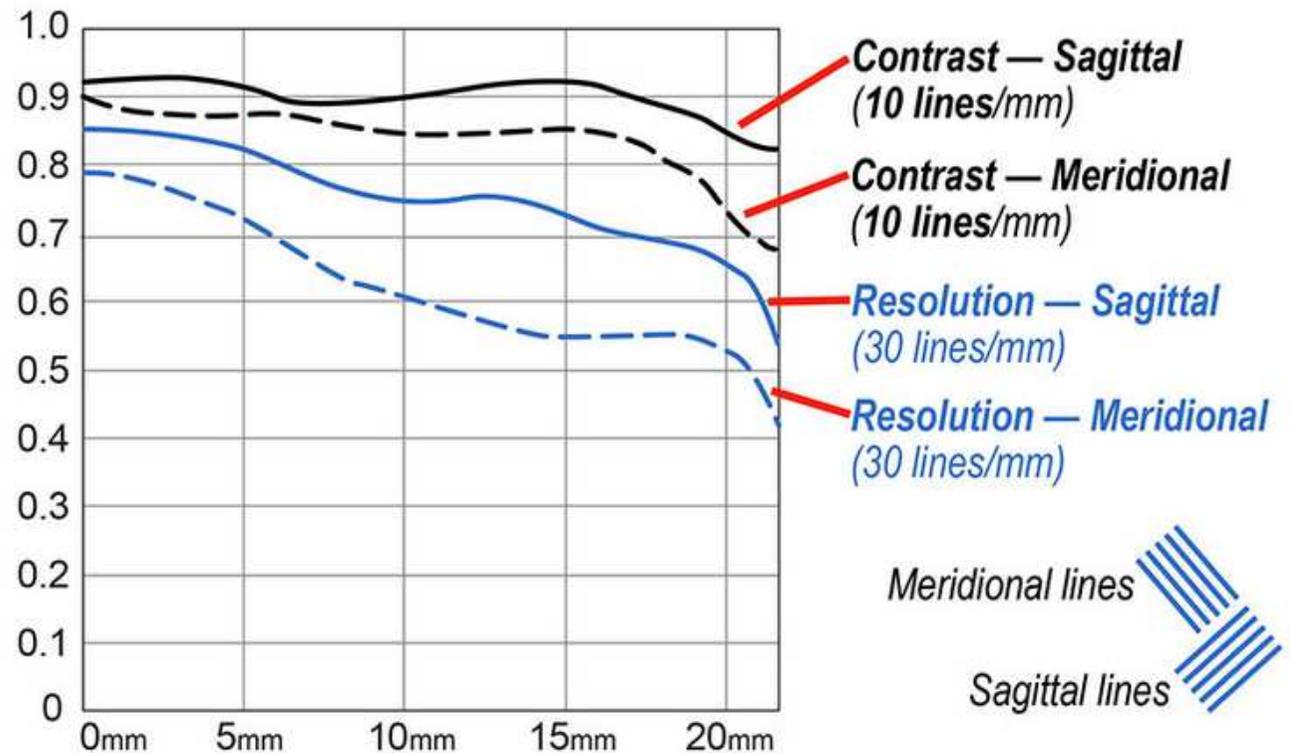
Chapitre IV : Optique de prise de vues

La MTF n'est pas constante sur toute la surface du capteur.

Exemple d'un objectif de marque Canon

Un capteur full-frame a des dimensions de 36 mm par 24 mm.

Sa diagonale, du centre à un coin du capteur, vaut un peu plus de 21 mm.



Chapitre IV : Optique de prise de vues

Correspondance entre FTM et FTO

La **Fonction de transfert de Modulation** (FTM) est calculée à partir d'une mire sinusoïdale. Dans la pratique, la mire utilisée consiste en une alternance de zones noires et blanches, ce qui correspond à un signal en créneaux.

La réponse d'un système optique à un signal carré est appelée **Fonction de Transfert Optique** (FTO).

La FTM est lié à la FTO par l'équation de Coltman (dans laquelle s est la fréquence spatiale):

$$FTO(s) = 4/\pi (FTM(s) - 1/3 FTM(3s) + 1/5 FTM(5s) + \dots)$$

$$FTM(s) = \pi /4 (FTO(s) + 1/3 FTO(3s) - 1/5 FTO(5s) + \dots)$$

En négligeant les harmoniques, il vient l'expression simplifiée:

$$FTM(s) = \pi /4 FTO(s) \simeq 0,8 FTO(s)$$

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Note concernant les fréquences spatiales

Sachant que le signal vidéo est limité en fréquence par la bande passante:

la durée minimale d'une période est l'inverse de la bande passante.

Sachant qu'une ligne est balayée sur toute sa largeur durant la durée utile, la distance parcourue sur la ligne durant une période du signal vidéo correspond à un cycle et est:

Distance parcourue = Vitesse de balayage × Durée d'une période = 1 cycle

$$\begin{aligned} \text{et: 1 cycle} &= \frac{\text{Vitesse de balayage}}{\text{Bande passante}} \\ &= \frac{\text{Largeur d'une ligne}}{\text{Durée d'une ligne} \times \text{Bande passante}} \end{aligned}$$

Chapitre IV : Optique de prise de vues

Sachant qu'un cycle est la « période spatiale », la fréquence spatiale correspondante est donnée par l'expression suivante:

$$\text{Fréquence spatiale} = \frac{\text{Bande passante} \times \text{Durée utile d'une ligne}}{\text{Largeur d'une ligne}}$$

Les valeurs des fréquences spatiales en fonction des formats d'images sont:

pour 1"	on a	20 cycles/mm
pour 2/3"	on a	30 cycles/mm (format des caméras broadcast)
pour 1/2"	on a	40 cycles/mm
pour 1/3"	on a	60 cycles/mm

Chapitre IV : Optique de prise de vues

D'autre part, un cycle correspond à une paire de pixels blanc et noir.

Sur une ligne:

$$\text{Nombre de cycles par ligne} = \frac{\text{Nombre de pixels par ligne}}{2}$$

Sachant que la fréquence est le nombre de périodes par seconde du signal,
il vient pour la fréquence maximale (en limite de bande passante):

$$\text{Bande passante (du signal vidéo)} = \frac{\text{Nombre de cycles par ligne}}{\text{Durée d'une ligne}}$$