

Photographie

Niveau : CPGE/L1

Prérequis : optique géométrique, lois de Descartes, approximation de Gauss, formules de conjugaison

Introduction

L'optique géométrique est une branche de l'optique qui s'appuie notamment sur le modèle du rayon lumineux. Cette approche simple permet entre autres des constructions géométriques d'images (d'où son nom) et d'expliquer leur formation. Dans cette leçon nous allons étudier un dispositif commun qu'on a tous sans doute déjà utilisé : l'appareil photo, afin de comprendre, entre autres, comment prendre des photos de bonne qualité.

I Présentation et modélisation de l'appareil photo

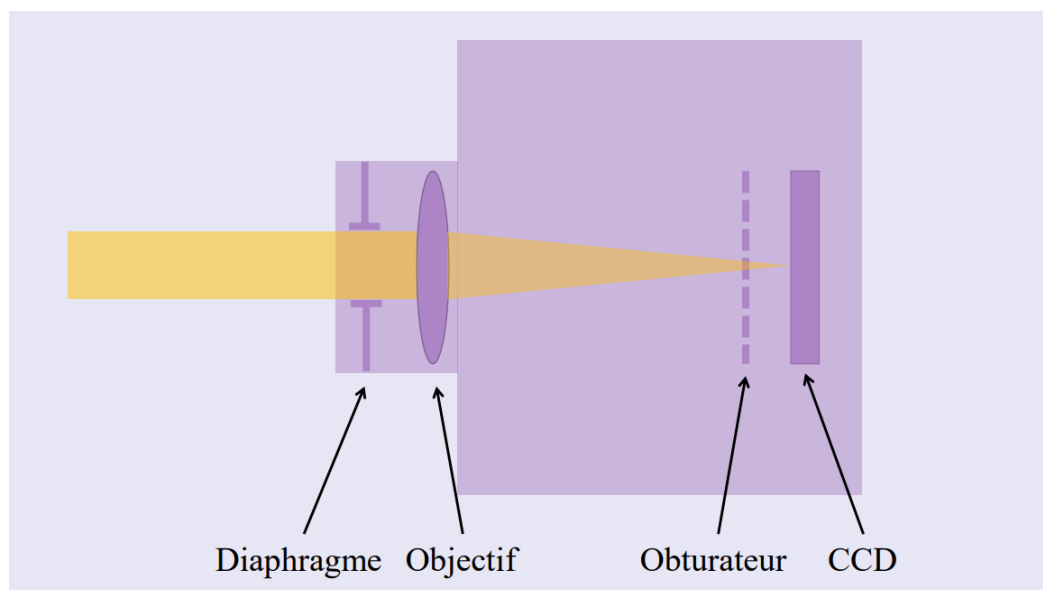
1) Présentation

Un appareil photo est constitué principalement d'un boîtier contenant une pellicule (film photosensible), un obturateur (diaphragme qui s'ouvre plus ou moins longtemps, modifie le temps de pose) et un diaphragme (fait varier la quantité de lumière), d'un objectif, qui est un système optique constitué de plusieurs lentilles convergentes et divergentes, et d'un capteur CCD, constitué d'une matrice de cellule ou pixels, produisant un courant dont l'intensité va être fonction de la quantité de lumière reçue.



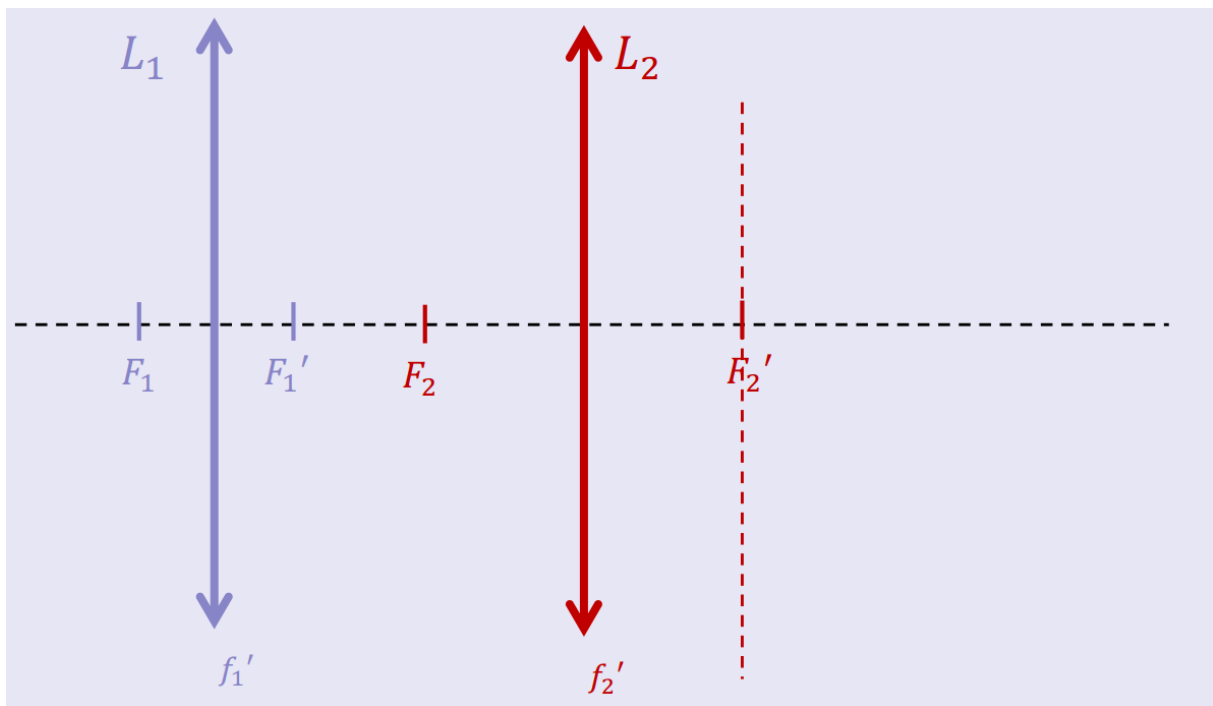
Extrait de la notice :

Dimensions (l x H x p)	130,2x 94,3 x 119,2 mm	Zone de mise au point	Normal: Grand-angle 30 cm - infini / Télé 150 cm – infini - AF Macro / Mise au point Manuelle / Intelligent Auto / Vidéo : Grand-angle 1 cm - infini / Télé 150 cm – infini
Poids	Env. 572 g sans batterie et carte SD	Vitesse d'obturation	Photo: Env. 4 - 1/2,000 sec (Obturbateur Mécanique) Env. 1 - 1/16,000 sec (Obturbateur Electronique) Paysage nocturne artistique (Environ 60 sec) Vidéo: Env. 1/25 – 1/16,000 sec Env. 1/2 - 1/16,000 sec (Mode vidéo créative / Mode MF)
Pixels effectifs	18.1 Mégapixels	Viseur	Viseur électronique 1166K points (0.2"), Champ de vision: Env. 100%, Lentille 19,6x Grossissement: Env. 2.59x / 0,46x (en équivalent 35 mm)
Taille capteur/ Pixels totaux/ Filtres	Capteur MOS Haute Sensibilité type 1/2.3 (avec pixels ultra-grands) /18,9 Megapixels / Filtre Couleur Primaire	AVCHD (enregistrement continu)	FHD/60p, FHD/50p: Env. 100 min FHD/60i, FHD/50i: Env. 100 min
Ouverture	F2.8 -5.9/ Diaphragme à Iris à Etape (F2.8 - 8.0 (W), F5.9 – 8.0 (T))	MP4 (enregistrement continu)	4K/30p, 4K/25p: Env. 80 min FHD/60p, FHD/50p: Env. 100 min
Zoom optique	60x	AVCHD (enregistrement normal)	FHD/60p, FHD/50p: Env. 50 min FHD/60i, FHD/50i: Env. 50 min
Longueur Focale	f = 3.58 - 215mm (equiv. 20 - 1200mm en 35mm en 4:3) (equiv. 21 - 1260mm en 35mm en 3:2) (equiv. 22 - 1320mm en 35mm en 16:9) (equiv. 23 - 1380mm en 35mm en 1:1) (equiv. 28 - 1680mm en 35mm en enregi. vidéo 4K PHOTO) (equiv. 28 - 1680mm en 35mm en enregi. vidéo 4K) (equiv. 22 - 1320mm en 35mm en enregi. vidéo FHD / HD)	MP4 (enregistrement normal)	4K/30p, 4K/25p: Env. 40 min FHD/60p, FHD/50p: Env. 50 min
Extra zoom optique	84x (4 :3 / 9M (M)), 122x (4:3 / 4,5M (S))	Taille des fichiers	4896x3672 (18M) (L) / 3456x2592 (9M) (M) / 2400x1800 (4.5M) (S) 4896x3264 (16M) (L) / 3456x2304 (8M) (M) / 2400x1600 (4M) (S) 4896x2752 (13.5M) (L) / 3840x2160 (8M) (M) / 1920x1080 (2M) (S) 3664x3664 (13.5M) (L) / 2592x2592 (7M) (M) / 1824x1824 (3.5M) (S)
Zoom intelligent	120x	Qualité d'image	RAW / RAW+Fin / RAW+Standard / Fin / Standard
Objectif	LUMIX DC VARIO - 14 éléments en 12 groupes (6 lentilles asphériques / 9 surfaces asphériques / 3 lentilles ED)		
Zoom électronique	Max. 4x (Lorsque le Zoom électronique est utilisé simultanément avec le Zoom Intelligent, vous ne pouvez augmenter le taux de zoom qu'à 2x.)		

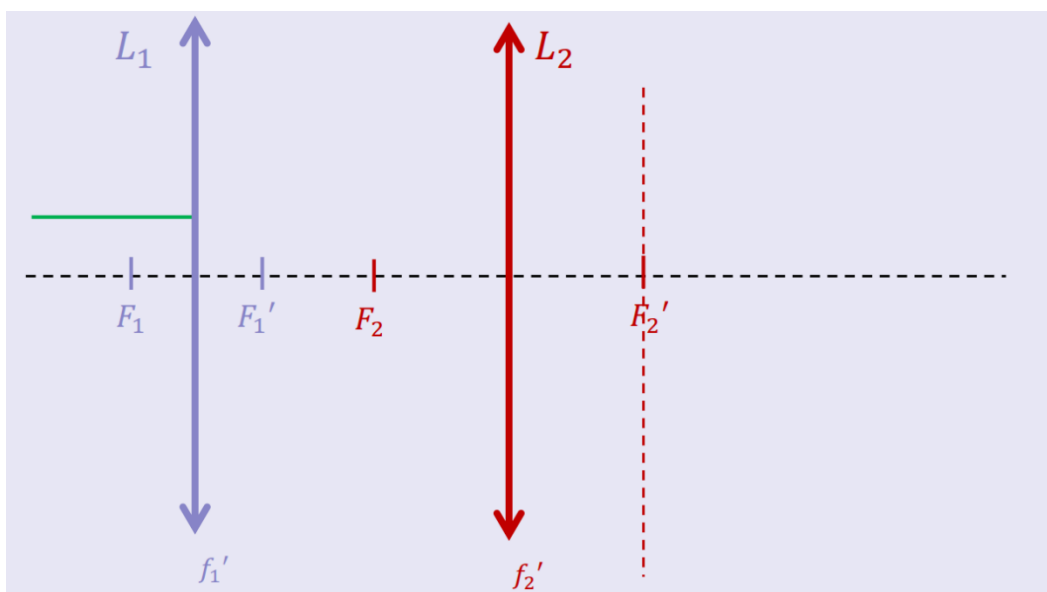


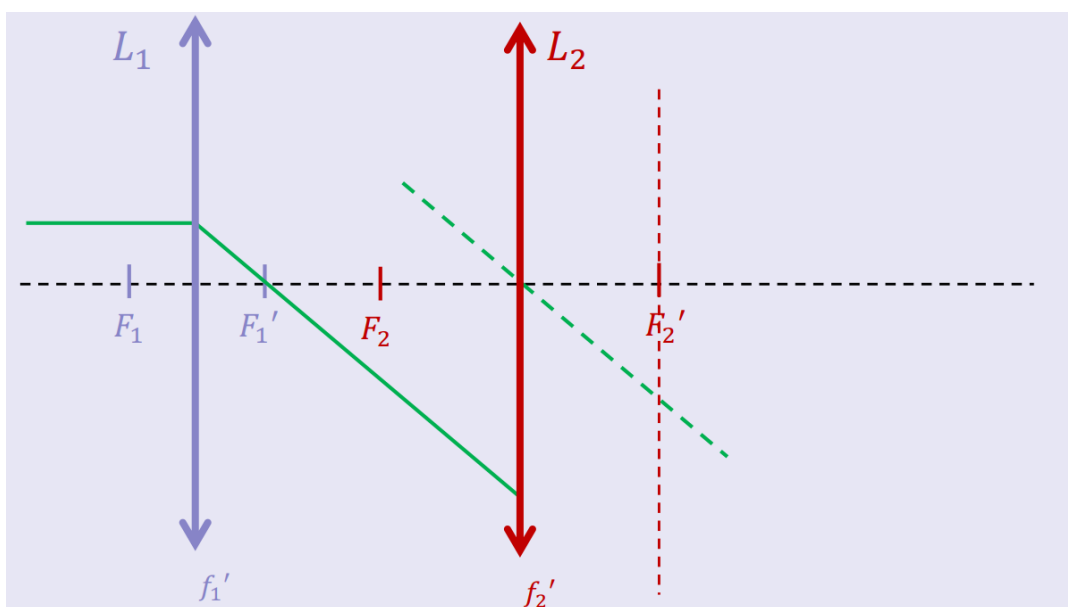
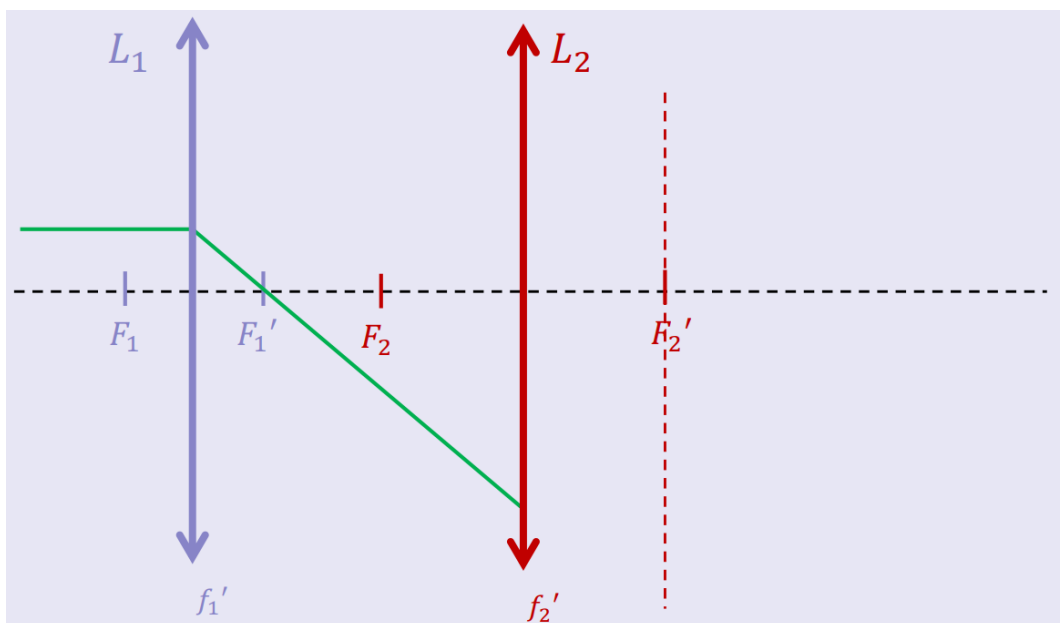
2) Modèle

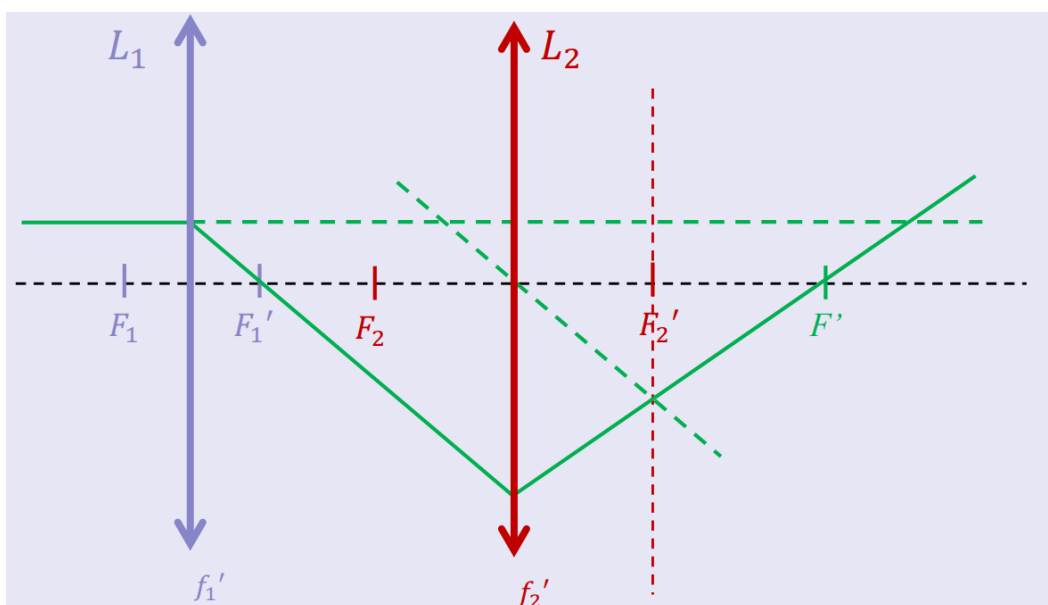
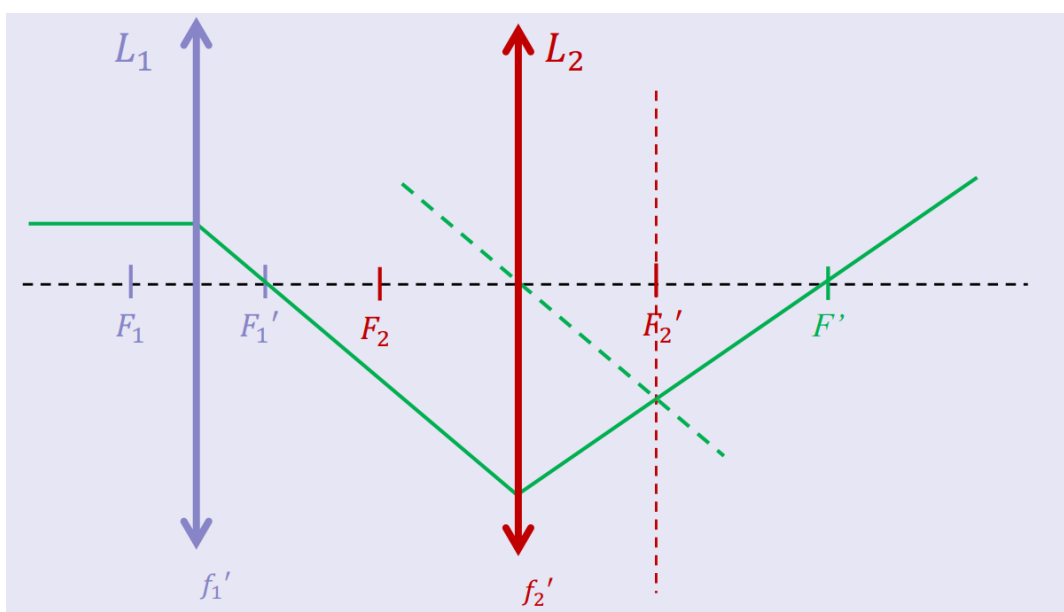
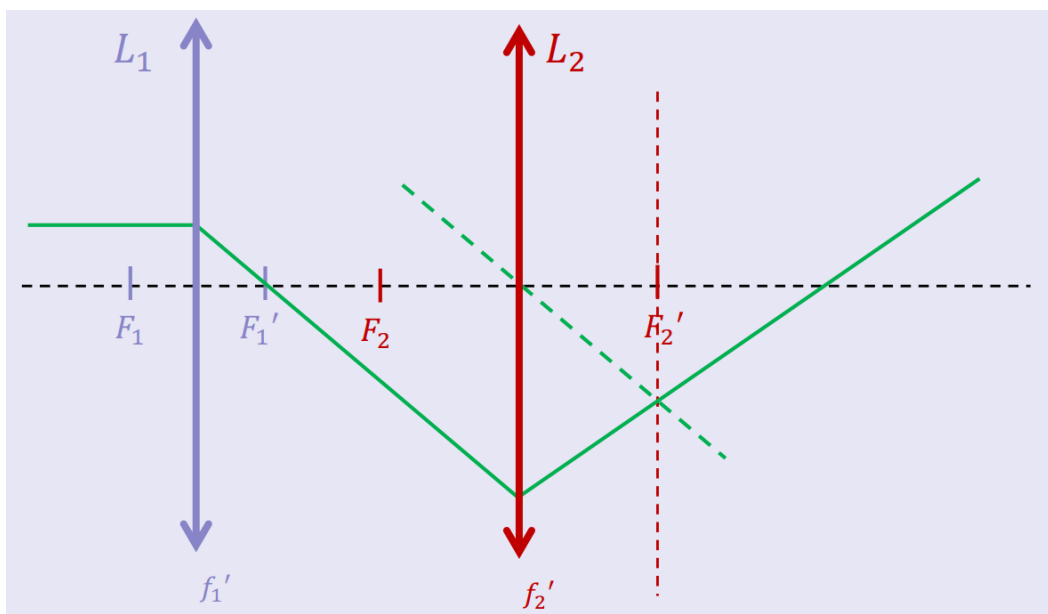
L'objectif est constitué de 14 lentilles. On va commencer par considérer une association de 2 lentilles convergentes de focales différentes.

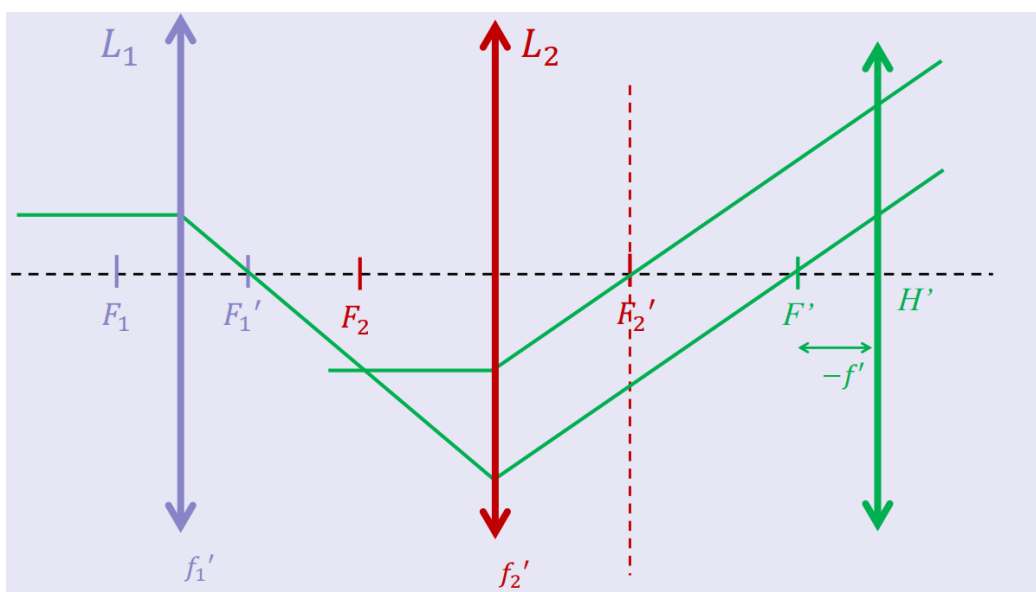
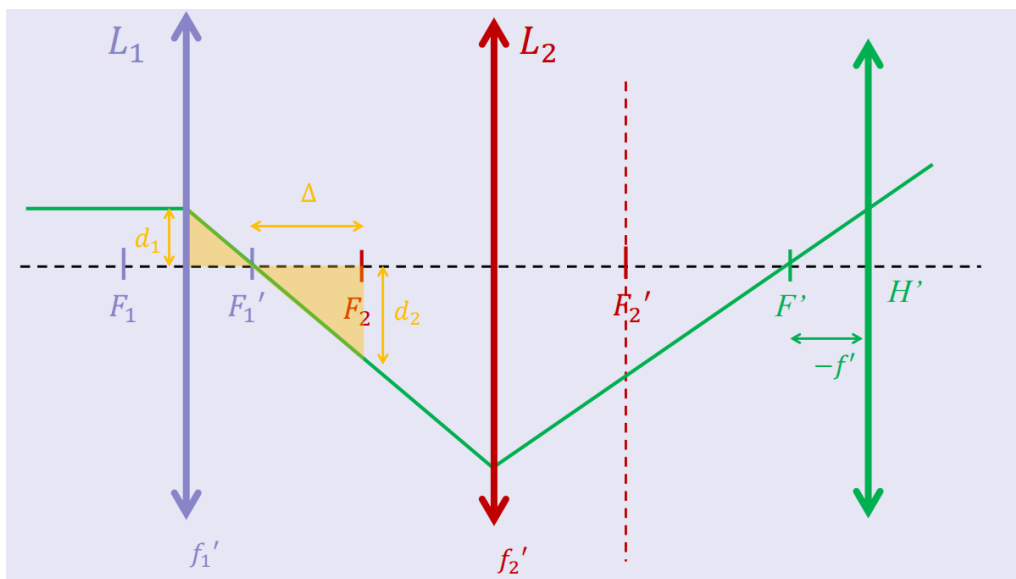
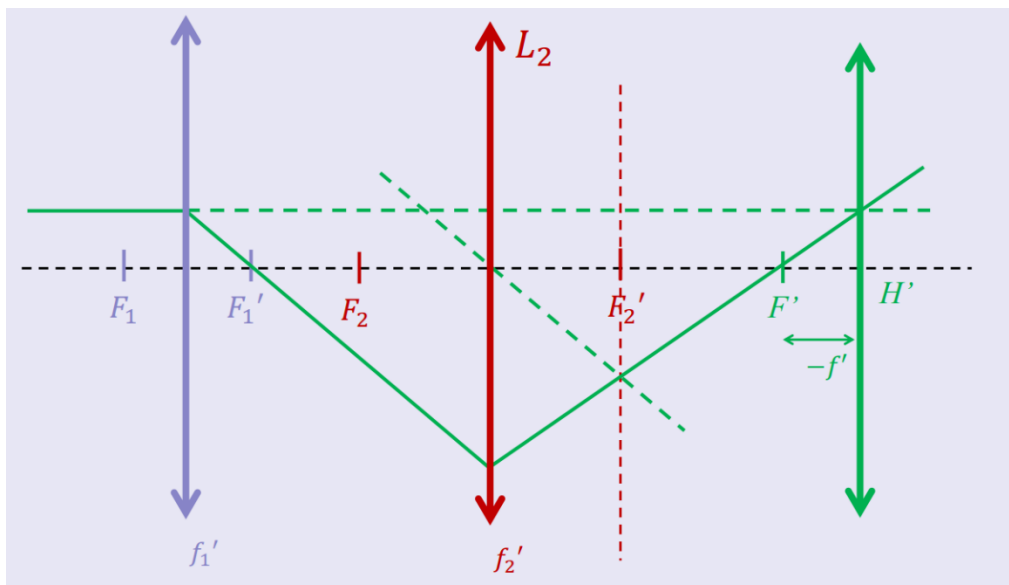


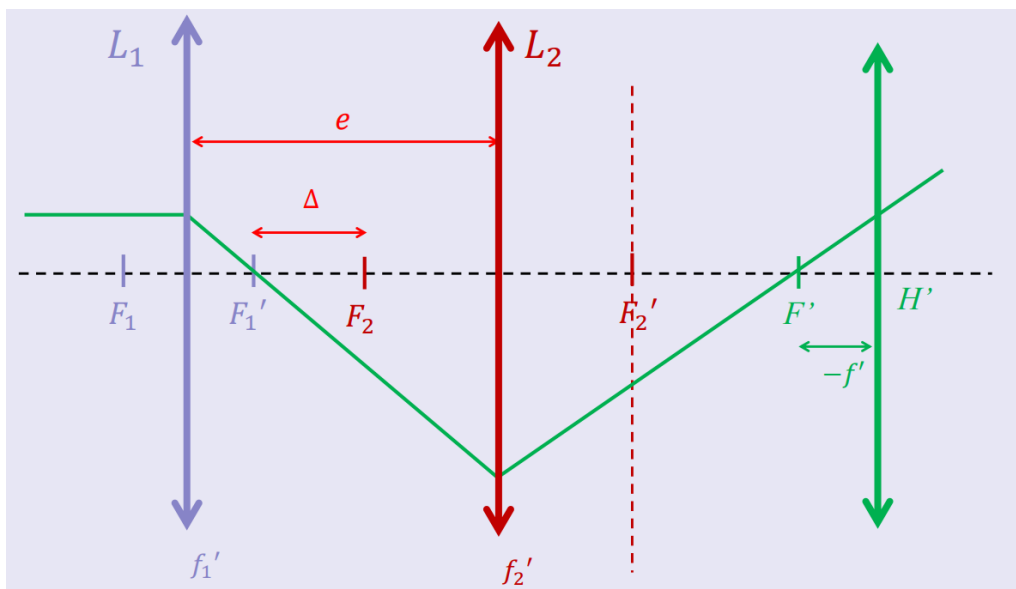
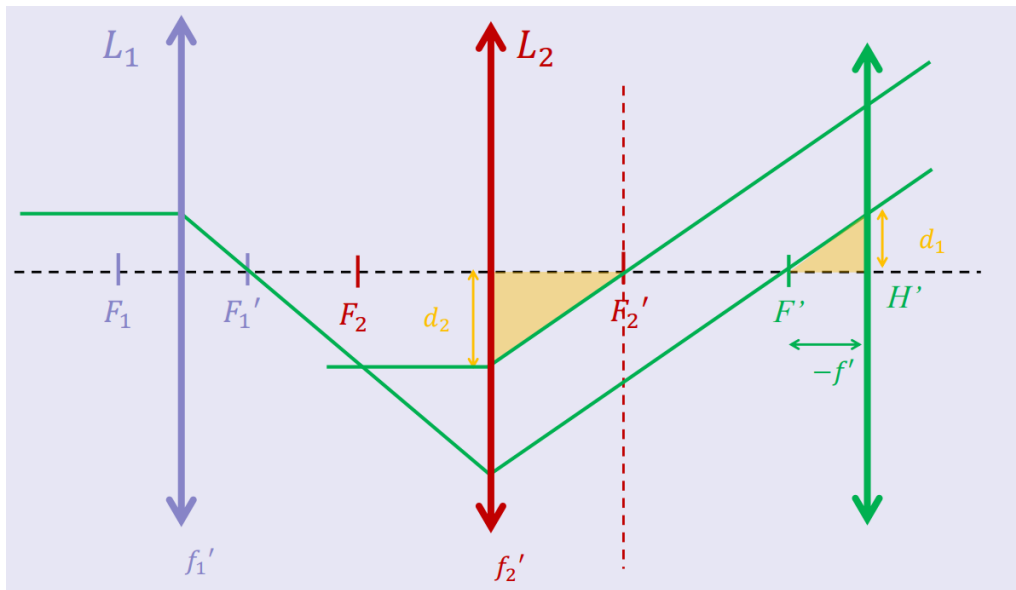
Pour trouver la focale image équivalente : un rayon parallèle entrant sort en croisant le foyer image, les rayons entrant et sortant se croisent au niveau du plan principale image.





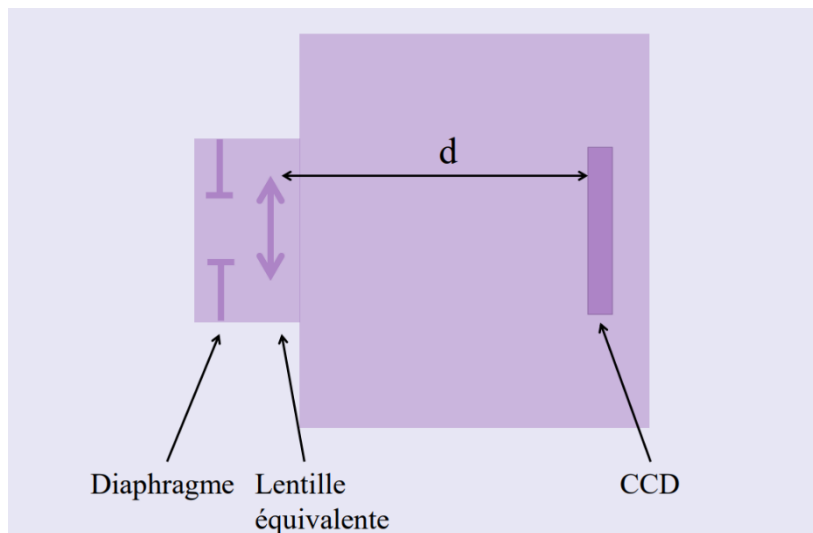






On peut définir la focale de ce système : $\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1'} + \frac{1}{f_2'} - \frac{e}{f_1'f_2'}$ (formule de Gullstrand)

En associant deux lentilles convergentes, on obtient un système divergent. Si on avait pris une lentille convergente et une lentille divergente on aurait obtenu un système convergent. En associant deux lentilles, on peut faire varier finement la focale en les déplaçant les unes par rapport aux autres. Dans l'appareil photo étudié, il y a 14 lentilles, on peut faire un réglage très fin. Par souci de simplification, on modélise ce système de 14 lentilles par une seule lentille mince convergente de focale f' variable. On modélise donc l'appareil photo par un diaphragme, une lentille convergente et un capteur.



Pour obtenir une image correcte, il va falloir que l'image du sujet photographié se forme sur le capteur (mise au point) et que la quantité de lumière reçue par les éléments sensibles du capteur soit « convenable ».

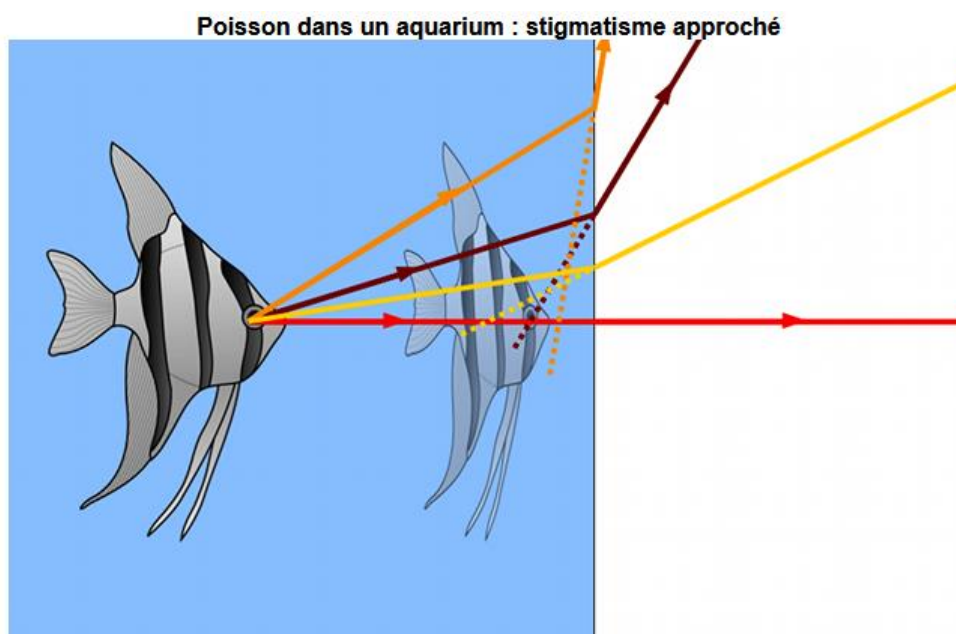
II Mise au point et netteté

1) Définitions

Mise au point : On dit que l'on fait la mise au point sur un objet A si l'image de l'objet par l'objectif se forme sur le capteur de l'appareil. Pour faire la mise au point on déplace l'objectif par rapport au capteur, de manière à ce que l'image soit nette.

Si l'image d'un point est une petite tache, on parle de stigmatisme approché.

Ex :



Si on trace plusieurs rayons issus d'un même point (l'oeil par exemple), tous ne convergent pas au même point. L'image du poisson est floue ! Le stigmatisme ne peut être qu'approché.

Il est d'usage de caractériser l'ouverture par ce qu'on appelle le nombre d'ouverture : $N = \frac{f'}{D}$, f' est la focale de l'objectif, D est le diamètre d'ouverture du diaphragme.

Le nombre d'ouverture caractérise l'ouverture d'un objectif photographique, il s'agit du réglage permettant d'ajuster le diamètre d'ouverture du diaphragme.

Pour un photographe, l'important est de connaître l'impact du diaphragme sur l'exposition de sa photo. Or pour un même diamètre d'ouverture et un temps de pose donné, la quantité de lumière qui va atteindre le capteur va varier en fonction de la longueur de la focale : plus la focale sera longue moins la quantité de lumière atteignant le capteur sera importante. Il faut donc compenser la perte de lumière par une plus grande ouverture.

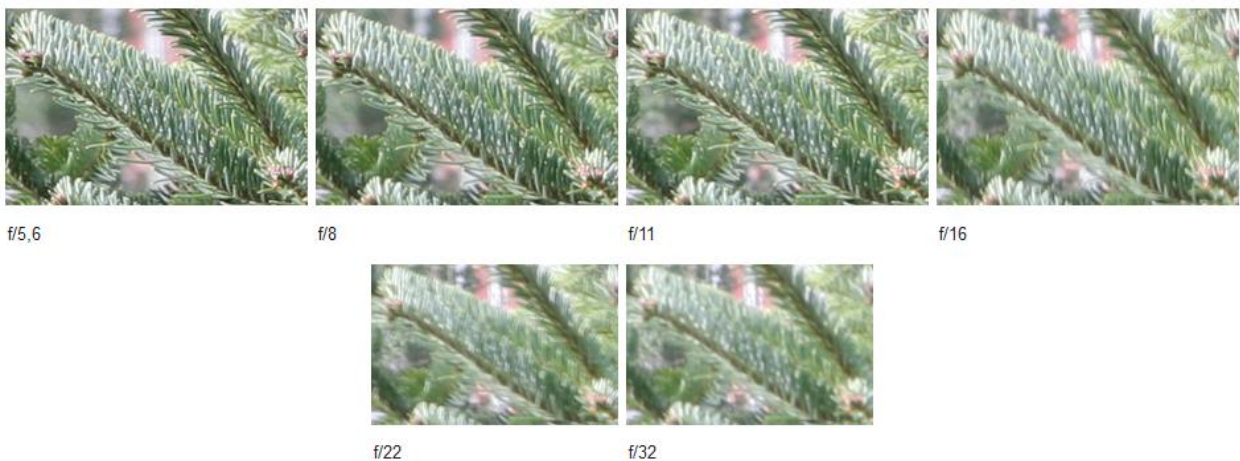
2) Diffraction

Lorsque N augmente, la diffraction n'est plus négligeable. Elle est constitutive de la nature ondulatoire de la lumière. La lumière passant par l'ouverture du diaphragme est diffractée. Plus l'ouverture est faible, plus le phénomène sera sensible.

En photographie, la diffraction influe sur la netteté de l'image : si le diamètre de la tache produite est trop important, la diffraction devient perceptible et nuit à la netteté.

Le rayon de la tache due à la diffraction est donné par : $R = 1,22\lambda N$.

Ex :



L'ouverture du diaphragme permet également de contrôler l'exposition d'une photo.

III Exposition

1) Paramètres

Exposition : le signal fourni par une cellule sensible du capteur dépend de l'énergie qu'elle reçoit. L'échelle des gris, du noir au blanc, correspond à une énergie reçue variant entre E_{\min} et E_{\max} . Pour E_{\min} ,

le pixel est noir et pour E_{\max} , le pixel est blanc. Si trop de capteurs reçoivent une énergie inférieure à E_{\min} , l'image est sous-exposée. A l'inverse, si trop de capteurs reçoivent une énergie supérieure à E_{\max} , l'image est surexposée.

L'exposition dépend de l'ouverture du diaphragme, mais aussi de la sensibilité ISO (International Organization of Standardization) et de la vitesse d'obturation.

La sensibilité ISO est la mesure de la sensibilité de la lumière des pellicules et des capteurs numériques. Une photographie est correctement exposée lorsque la surface sensible reçoit la bonne quantité de lumière : celle qui permet d'obtenir une image qui n'est ni trop claire ni trop sombre. Pour obtenir cette exposition correcte, le photographe doit donc savoir quelle est cette « bonne quantité ». La sensibilité ISO est un moyen d'exprimer cette information.

$S = \frac{H}{H_0}$, avec H la luminance (exposition lumineuse) nécessaire pour le résultat recherché et H_0 une constante qui permet de fixer l'échelle de sensibilité.

La vitesse d'obturation (temps d'exposition, que l'on note τ) est la durée pendant lequel l'obturateur s'ouvre au déclenchement, c'est-à-dire la durée pendant laquelle le capteur est exposé à la lumière, elle s'exprime en s. L'énergie lumineuse reçue par le capteur est proportionnelle à τ .

2) Temps d'exposition

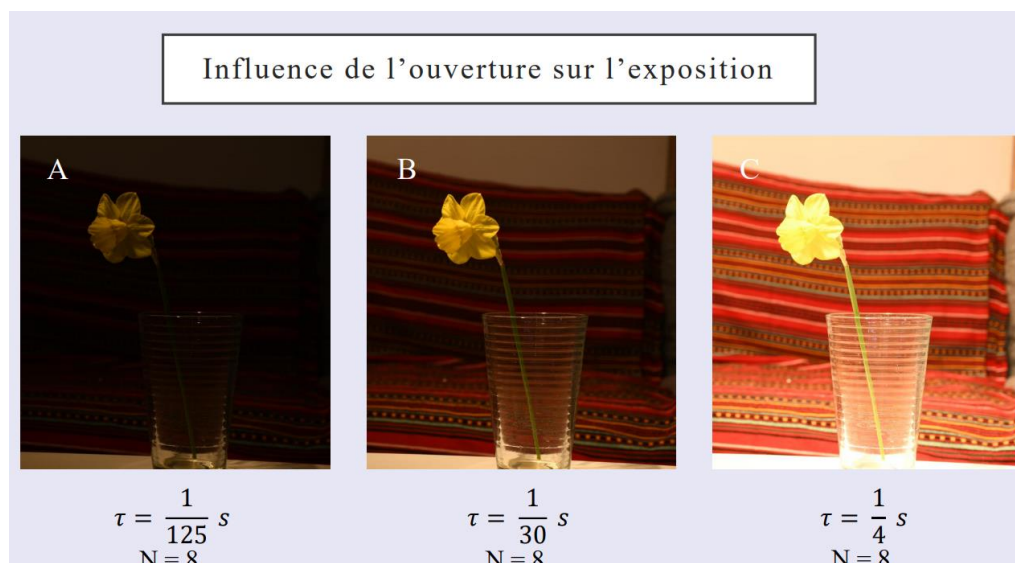
On caractérise l'onde lumineuse par son éclairement ϵ qui est l'énergie lumineuse reçue par unité de temps et de surface, ou bien la puissance reçue par unité de surface. Elle s'exprime en $W.m^{-2}$. La puissance passant à travers l'objectif est donc : $P_{obj} = \epsilon \pi \frac{D^2}{4}$. Cette puissance est également proportionnelle à D .

La puissance reçue au niveau du capteur par 1 pixel est proportionnelle à cette puissance : $P_{pixel} = \alpha P_{obj}$.

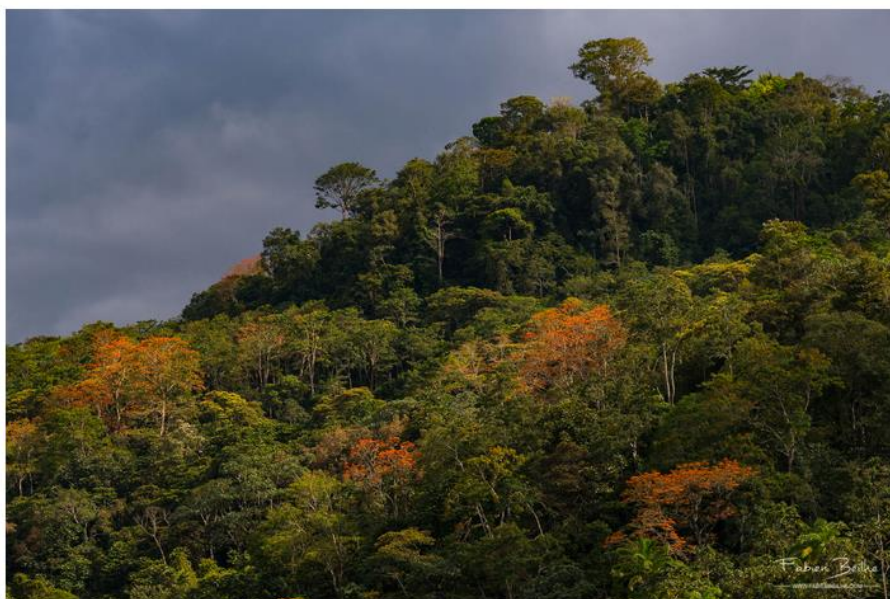
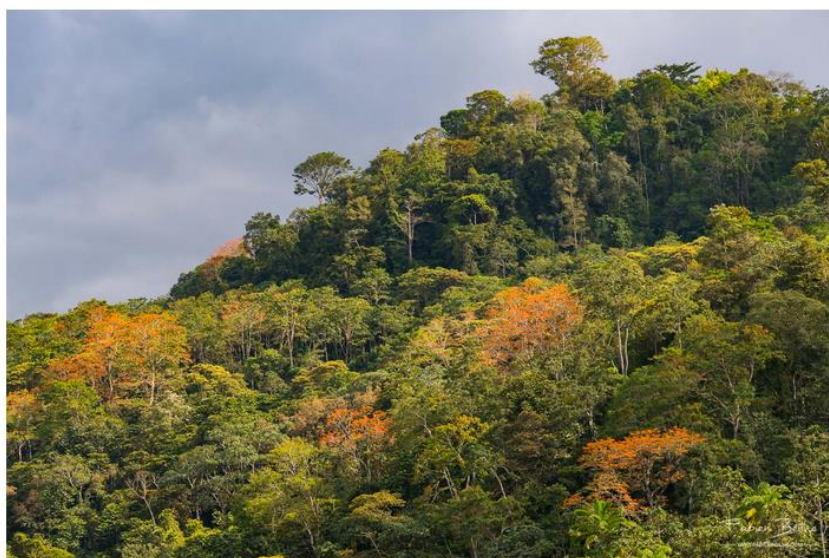
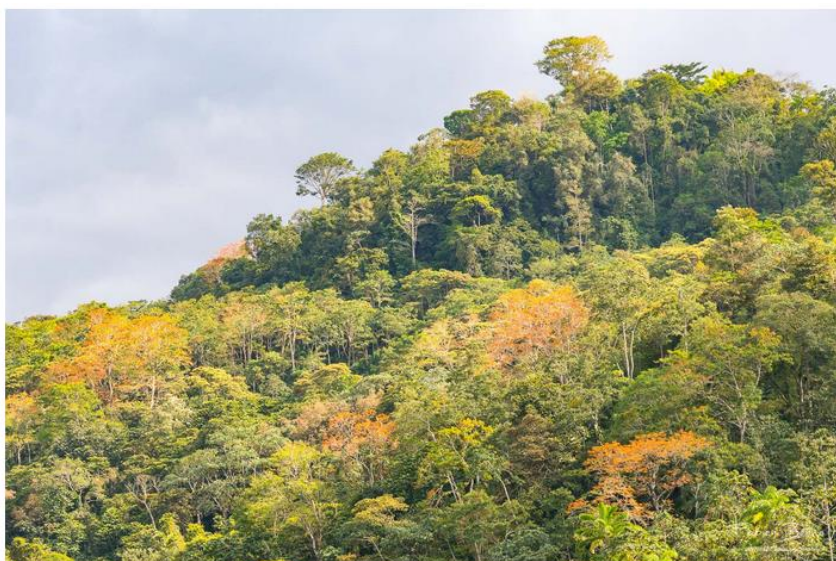
Enfin on peut exprimer l'énergie reçue par un pixel en fonction de la durée d'exposition :

$E_{pixel} = \alpha \epsilon \tau \frac{D^2}{4}$, finalement l'énergie reçue par un pixel est proportionnelle à $D^2 \tau$.

Ex :



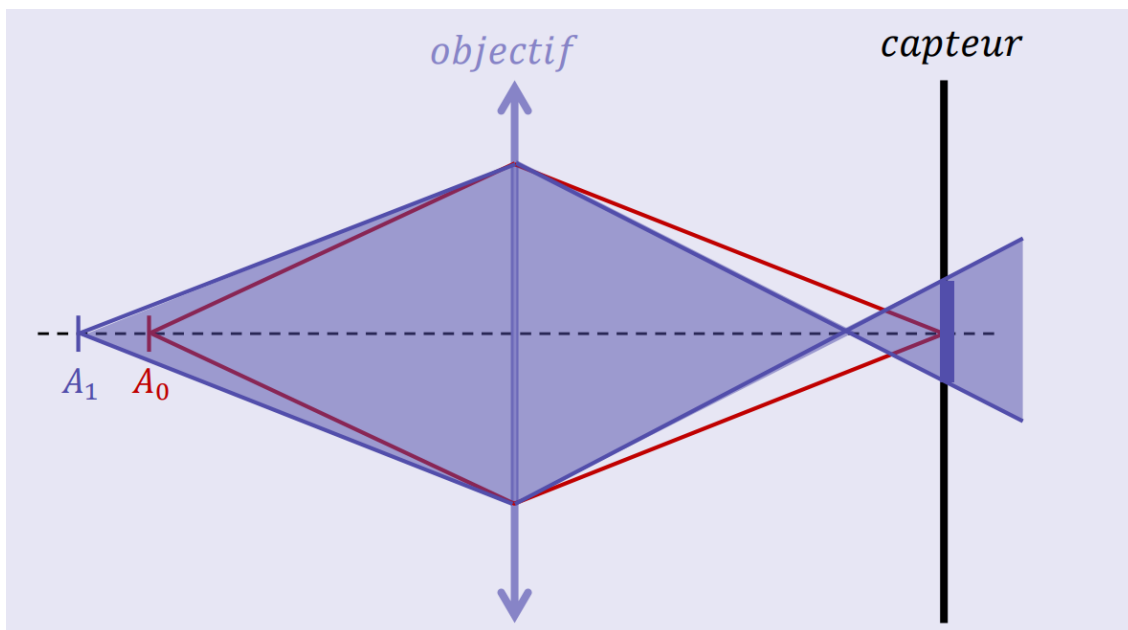
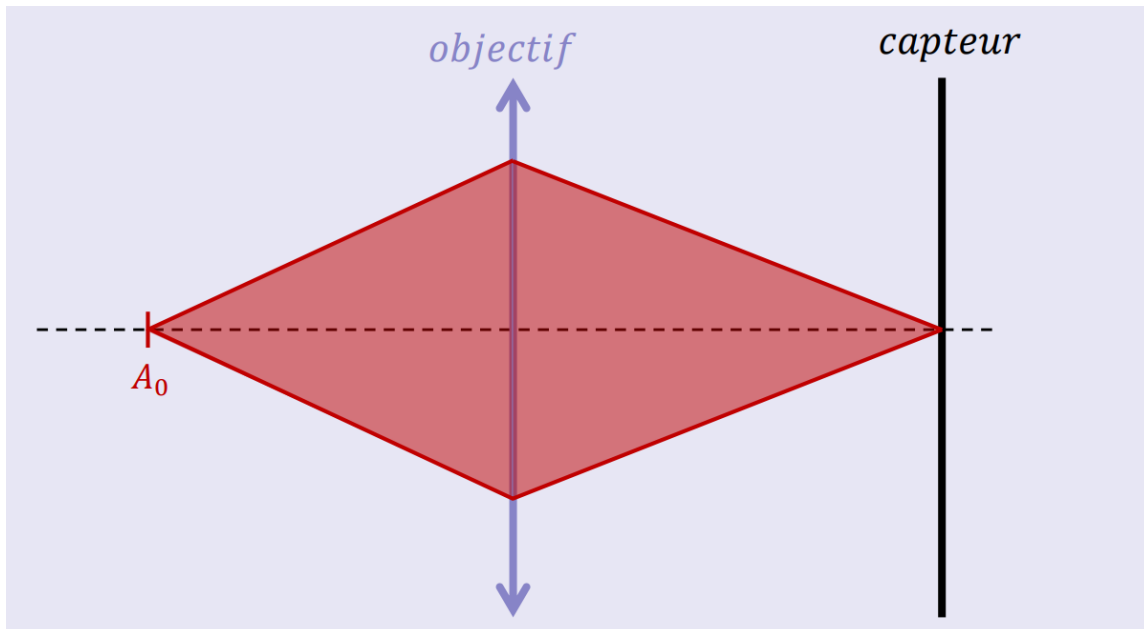
Ex : pour $N = 5,6$; $N = 8$ et $N = 11$

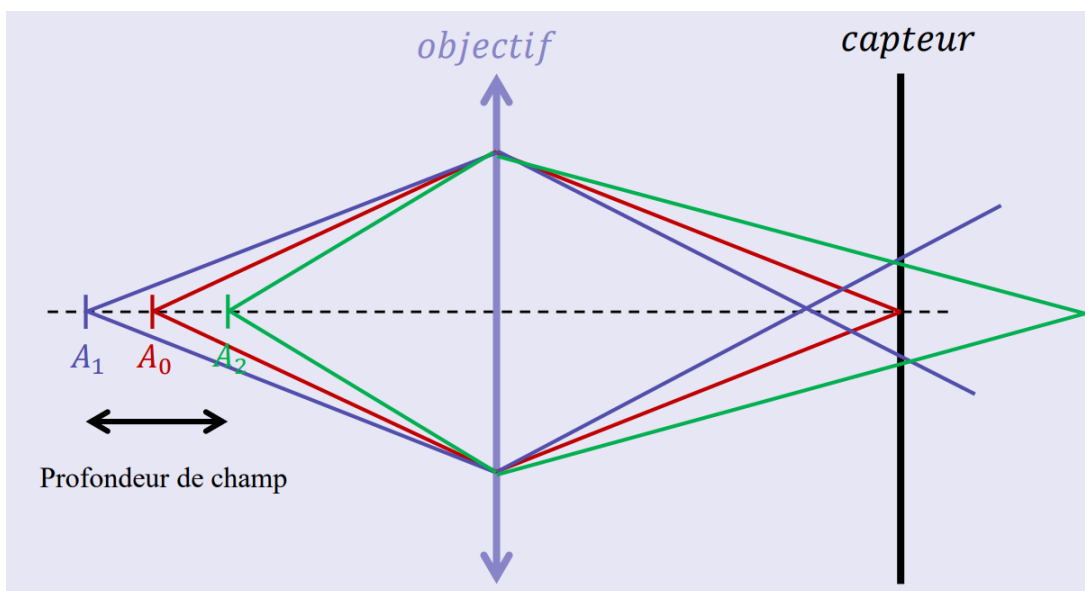
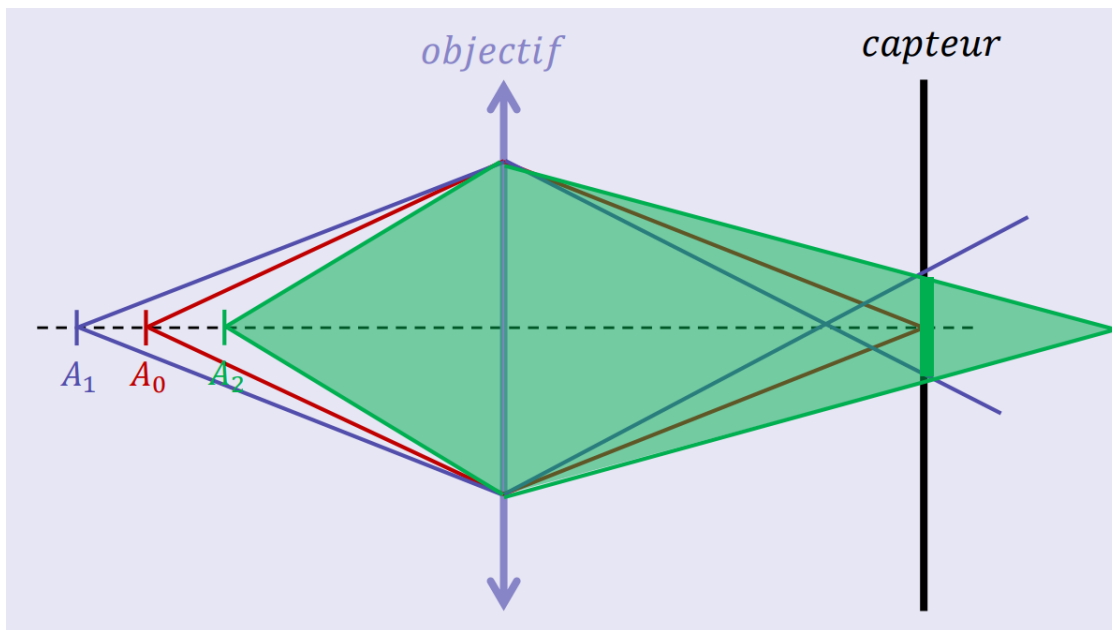


IV Profondeur de champ

1) Influence du diaphragme

Pour une mise au point donnée la profondeur de champ est la distance entre le plus le plus rapproché et le point le plus éloigné de l'axe optique de l'objectif pour lesquels l'appareil fournit une image nette. Elle est liée à la nature discontinue du capteur et à sa granularité.





Avec une faible profondeur de champ seule une petite partie de l'image est nette. Il s'agit de la zone précise où la mise au point a été faite. Avec une grande profondeur de champ, c'est l'inverse. L'image présente une zone de netteté étendue.

Si on regarde mieux les photos précédentes, on constate des différences de netteté. Comment expliquer cela ?

Point A sur lequel la mise au point est faite, point B situé avant A. Par les formules de conjugaison de Newton : $F'B' \cdot FB = F'A' \cdot FA$ donc $F'B' = \frac{F'A' \cdot FA}{FB} < F'A'$

Ainsi la lumière issue de B fait une tache sur le capteur qui a la forme du diaphragme d'ouverture, pour un diaphragme circulaire de diamètre D , une tache circulaire de diamètre δ : $\delta = D \frac{B'A'}{OB'}$

Si D est petit, le diamètre de la tache sera petit. Si B s'éloigne de A et de l'appareil, FB augmente, donc δ augmente. Plus le point B est loin de A plus la tache sera grande. Pour que B soit net sur la photo, il faut que $\delta < \delta_{\text{CCD}}$, taille d'une cellule élémentaire du capteur. Mais en fait c'est inutilement

Diagram illustrating the Fourier transform setup. A plane wave from source A_1 passes through aperture A_2 , creating a spherical wave. This wave passes through a lens (Objectif) and is focused onto a detector (Capteur). The distance from A_2 to the lens is L , and from the lens to the detector is d . The detector has a width δ_{max} . The lens has a diameter D . The optical axis is marked with O .

$$\frac{\delta_{max}}{D} = \frac{F'H'}{OH'}$$

D'après la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OH'} = \frac{1}{OH} + \frac{1}{f'}$

Ex : pour $N = 4$ et $N = 22$





2) Choix de la focale

La mise au point est faite à l'infini c'est-à-dire que un point à l'infini a son image sur le capteur CCD qui est donc placé à une distance $d = f'$ de l'objectif.



$f' = 18 \text{ mm}$



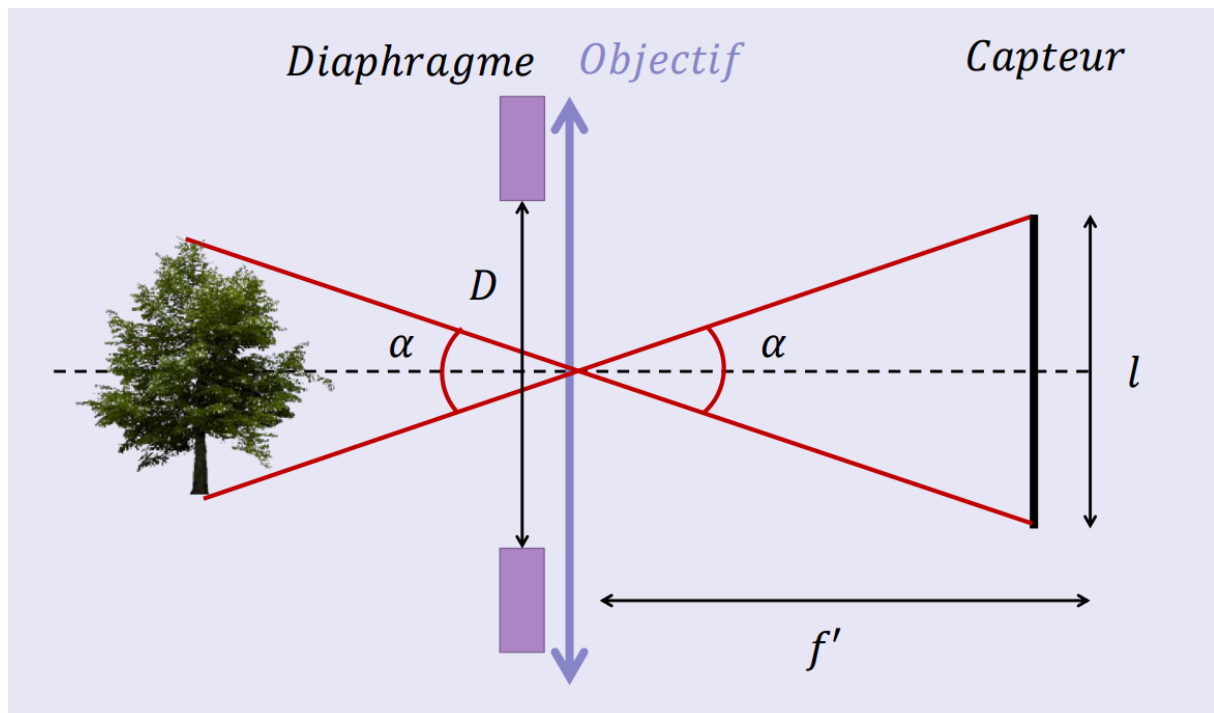
$f' = 35 \text{ mm}$



$f' = 50 \text{ mm}$



$f' = 135 \text{ mm}$



Finalement on voit qu'une grande focale implique un faible champ de vue. En pratique, comme on l'a vu, les objectifs sont constitués de plusieurs lentilles dont on peut modifier les paramètres pour modifier la focale. C'est en fait en ça que consiste le zoom.

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons réutilisé l'optique géométrique pour décrire un dispositif largement utilisé : l'appareil photo. L'optique géométrique peut servir également à décrire d'autres instruments d'optique comme les télescopes.

Bibliographie

-<https://www.fabienbeilhe.com/blog/ouverture-diaphragme-photo>