



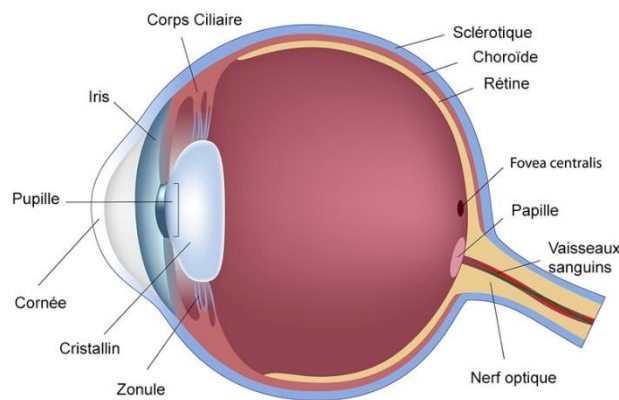
Modèles de quelques dispositifs optiques

I. L'œil

1. Modélisation de l'œil

1.1 Aspect physiologique

L'œil se présente comme un globe de 25 mm de diamètre environ et limité par une membrane résistante, la sclère ou sclérotique.

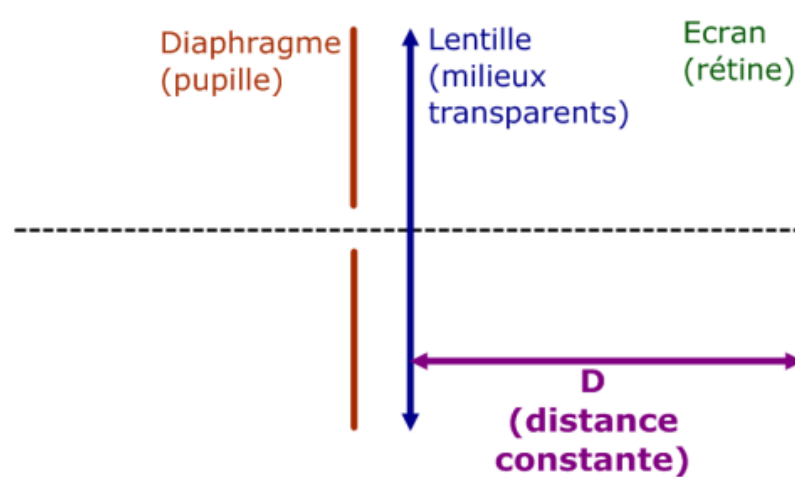


Ses éléments principaux sont :

- **La cornée** : Dioptré entre l'air et l'humeur aqueuse d'indice voisin de 1.336, son rôle est de capter et de focaliser la lumière sur le cristallin.
- **Le cristallin** : Lentille biologique biconvexe (donc convergente) et élastique qui donne d'un objet une image réelle renversée sur la rétine. **La focale du cristallin est variable grâce à sa capacité à modifier sa courbure sous l'action des muscles ciliaires**
- **L'iris et la pupille** : L'iris, une membrane diversement colorée, délimite un diaphragme, la pupille, qui limite l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil. L'iris réagit automatiquement aux variations d'intensité lumineuse et va permettre de recevoir la quantité de lumière nécessaire en se rétrécissant ou en s'agrandissant, le diamètre de la pupille peut alors varier entre 2 et 8 mm.
- **La rétine** : Membrane fixe regroupant des cellules nerveuses photoréceptrices appelées cônes (cellules coniques) et bâtonnets (cellules cylindriques), servant à la transformation des signaux lumineux en signaux électriques véhiculés par l'intermédiaire des nerfs optiques. Leurs tailles varient entre 1,5 μm et 5 μm . La sensibilité de la rétine est maximale sur un petit cercle voisin de l'axe, de rayon 1 mm, appelé fovéa et ne contenant que des cônes.

L'ensemble rétine - nerf optique code cette image sous forme d'influx nerveux et le transmet au cerveau qui l'interprète (retournement de l'image, correction de la distorsion, impression du relief grâce aux informations transmises par les deux yeux) et qui reconstitue la sensation visuelle en couleur et profondeur.

1.2 Modélisation



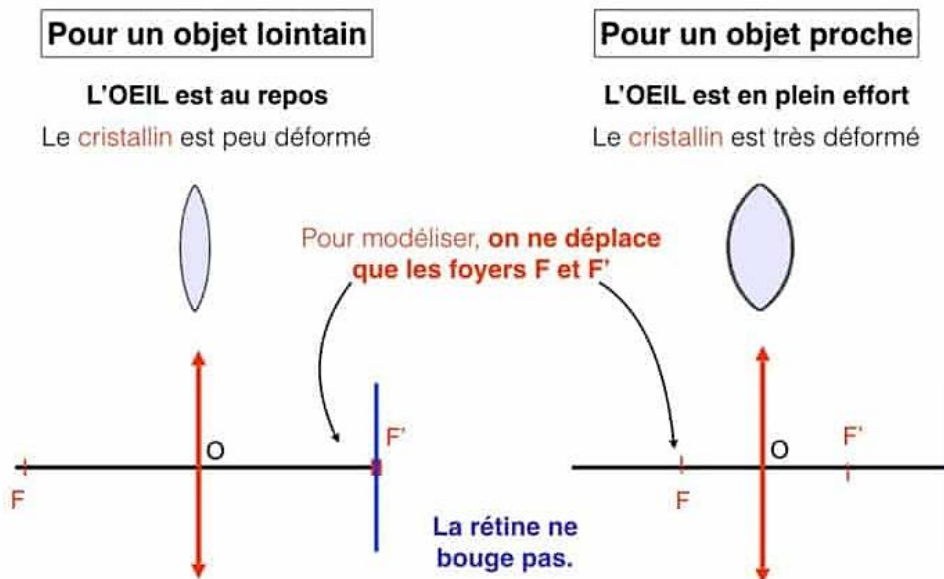
2. Accommodation

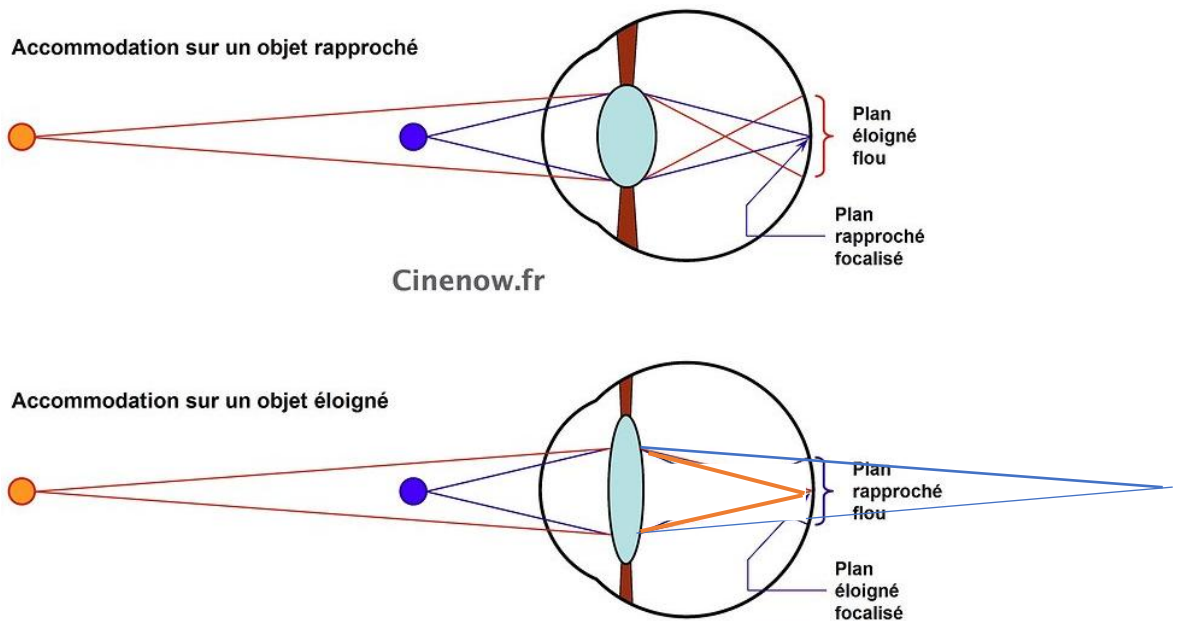
L'œil ne voit une image nette que si elle se forme sur la rétine.

Lorsque l'objet se rapproche, la distance cristallin-rétine étant fixe, le cristallin se déforme et sa convergence augmente afin que l'image de l'objet se forme encore sur la rétine. L'œil effectue une mise au point : on dit que l'œil accommode.

Le processus d'accommodation est l'ensemble des modifications oculaires adaptatives permettant d'assurer la netteté des images pour différentes distances de vision.

L'accommodation se réalise grâce au changement de courbures des deux faces du cristallin.

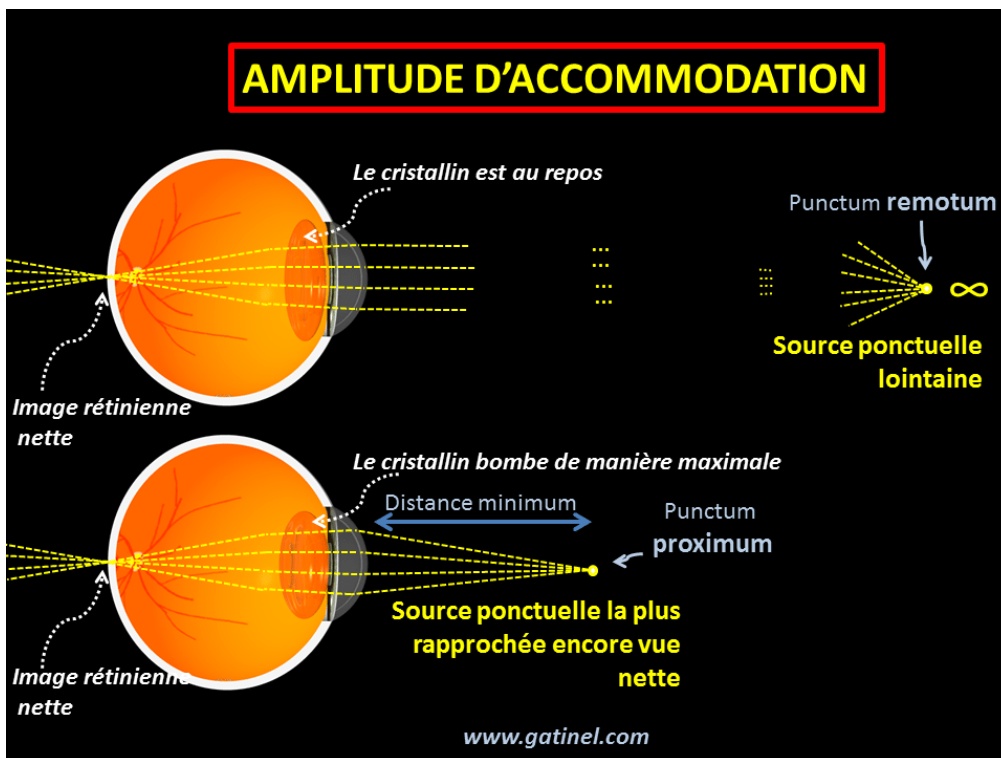




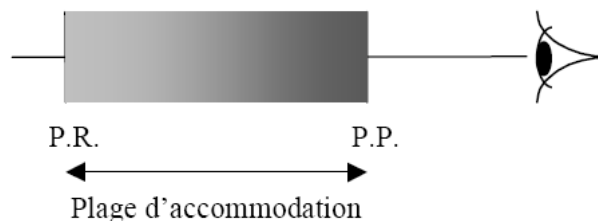
Accommodation minimale : l'œil est au repos, il voit nettement tout objet situé à une distance maximale d_{\max} correspondant au **punctum remotum PR**.

Pour un œil normal ou emmétrope au repos le PR est situé à l'infini.

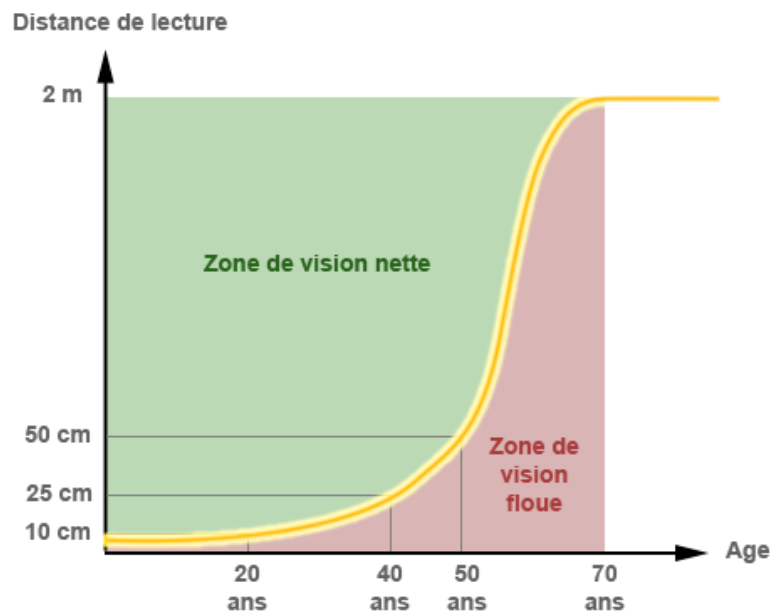
Accommodation maximale : l'œil voit nettement tout objet situé à la distance minimale de vision distincte d_{\min} correspondant au **punctum proximum PP**.



L'œil peut voir nettement, grâce au processus d'accommodation, tout objet situé entre le PP et le PR.



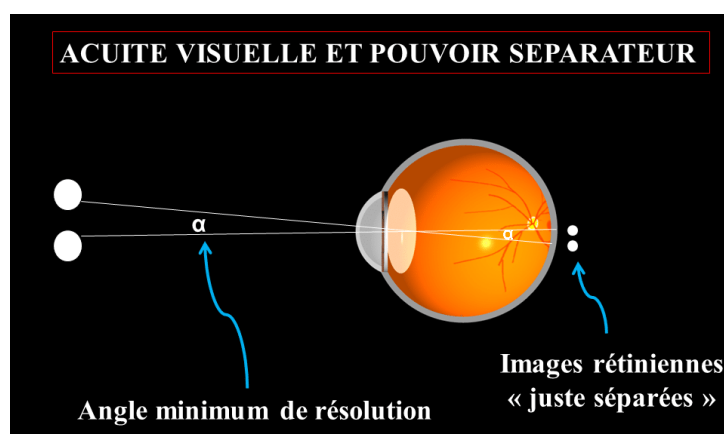
La distance minimale de vision distincte varie d'un individu à l'autre et change avec l'âge mais on la prend généralement égale à 25 cm. Cette réduction de l'amplitude d'accommodation est due à une perte de souplesse du cristallin. **La presbytie est une déficience de la vision due au vieillissement de l'œil qui perd sa faculté d'accommodation en vieillissant.**



3. Limite de résolution angulaire

L'œil ne peut séparer deux objets que si leurs images sur la rétine sont suffisamment éloignées pour se former sur des récepteurs différents. La capacité de l'œil à distinguer des rayons de directions voisines a une limite.

La limite de résolution angulaire est le plus petit angle sous lequel un objet est observable. Dans de bonnes conditions d'éclairage, il est de l'ordre d'une minute d'arc, soit $3 \cdot 10^{-4}$ rad.



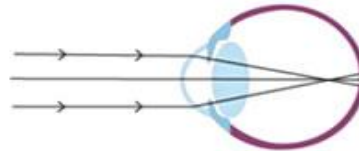
Si $\alpha < 3 \cdot 10^{-4}$ rad, les images se forment sur une seule cellule, l'œil ne distingue pas les 2 images et ne voit qu'un seul point.

Si $\alpha > 3 \cdot 10^{-4}$ rad, les images se forment sur deux cellules différentes, l'œil distingue les 2 images.

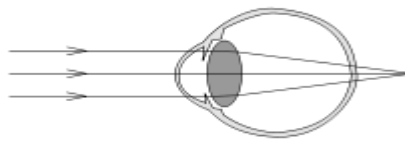
4. Les défauts de l'œil

Amétropie : Nom général pour un œil souffrant d'un défaut cité ci-dessous. Ces défauts sont habituellement dus à une convergence et/ou une profondeur de l'œil mal ajustées.

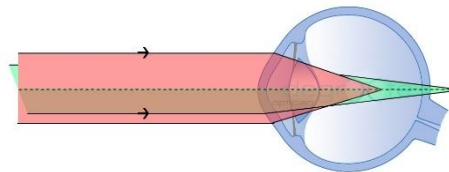
Myopie : La myopie est une déficience de la vision due à une trop grande distance séparant la cornée et la rétine, le foyer va donc se trouver devant la rétine. Un tel défaut est attribué à un allongement horizontal de l'œil ou à un trop fort indice du cristallin.



L'hypermétropie : L'hypermétropie est une déficience de la vision due à une trop courte distance entre la cornée et la rétine, le foyer va donc se trouver derrière la rétine.

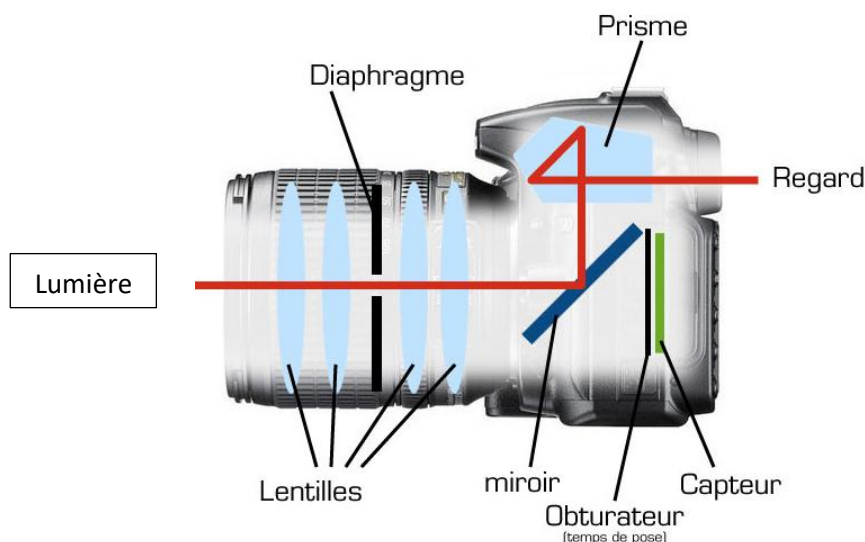


Astigmatisme : L'astigmatisme est une déficience de la vision due à une irrégularité de la courbure de la cornée ou du cristallin. Plus généralement ce phénomène est causé par une cornée non ronde. L'œil ne possède pas la symétrie de révolution. La vision est difficile de loin comme de près. *Ce défaut de l'œil peut également être combiné à d'autres défauts cités ci-dessus.*



II. L'appareil photo numérique

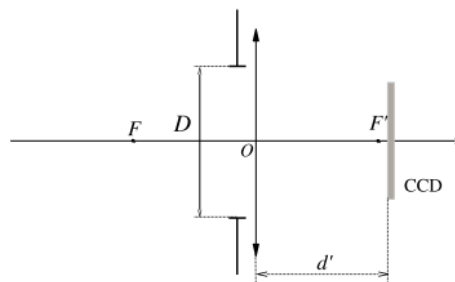
1. Constitution d'un appareil photo numérique (APN)



Un APN comprend :

- Un groupe de lentilles, qui donne d'un objet réel une image réelle, inversée, au niveau du capteur. Cette association permet de corriger les nombreux défauts (aberrations géométriques et chromatiques) que présente toute lentille. **Nous assimilerons ce groupe de lentilles à une lentille convergente unique de distance focale f** , caractéristique importante de l'objectif ;
- Un **diaphragme**, qui limite l'ouverture du faisceau lumineux entrant ;
- Un **obturateur** : mécanisme intégré à l'appareil photo, qui permet de laisser entrer la lumière sur le capteur pendant une période donnée ;
- Un **capteur numérique** qui transforme le signal lumineux reçu en signal électrique, il est caractérisé par sa taille et son nombre total de pixel.
- **Un miroir et un prisme** : pendant la visée, le miroir renvoie la lumière vers le prisme et de là, vers le viseur. Il se relève quand on appuie sur le déclencheur pour laisser la lumière atteindre le capteur situé derrière lui.

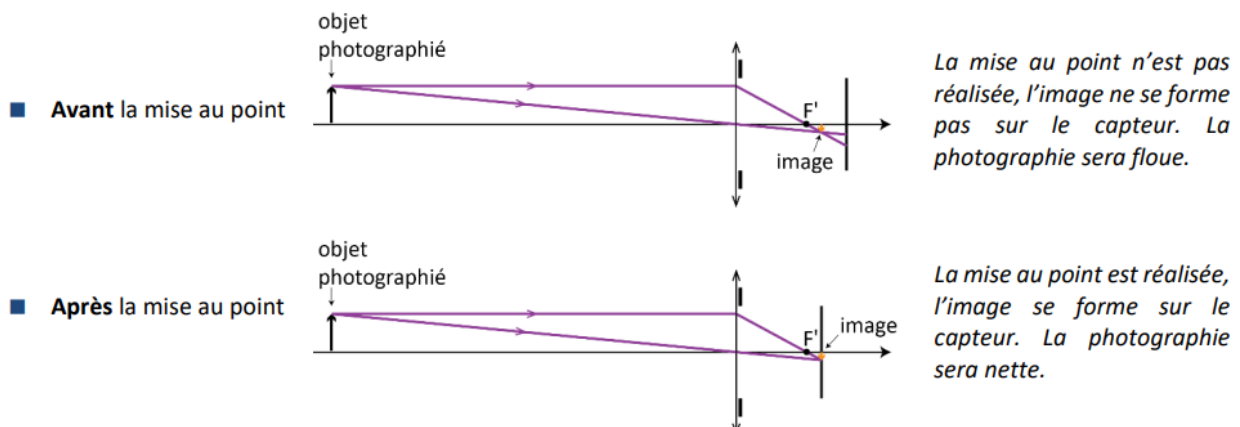
Modélisation :



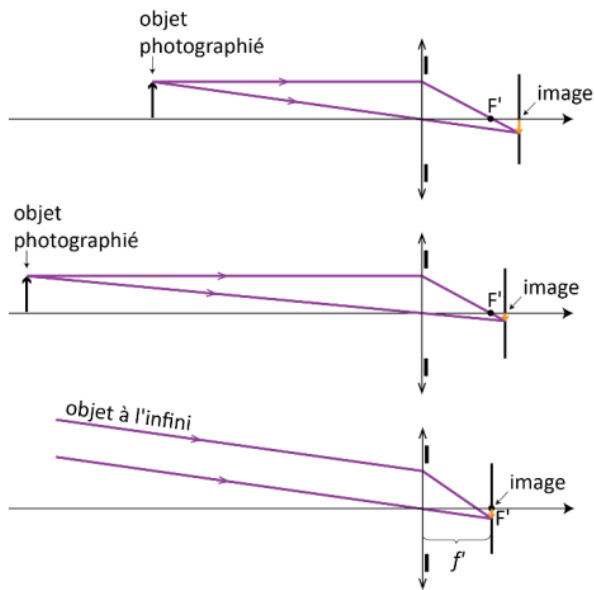
2. La mise au point

Réaliser la mise au point consiste à faire en sorte que **l'image de l'objet photographié se forme sur le capteur**.

Techniquement, lors de la mise au point, l'objectif se déplace jusqu'à ce que l'image se forme sur le capteur. La distance focale de l'objectif, la distance objectif – objet et la distance objectif-capteur vérifient alors la relation de conjugaison des lentilles convergentes.



Plus l'objet est éloigné, plus la distance objectif – capteur doit être courte pour assurer la mise au point. Lorsque l'objet visé est à l'infini, la distance objectif – capteur est égale à la distance focale de l'objectif.

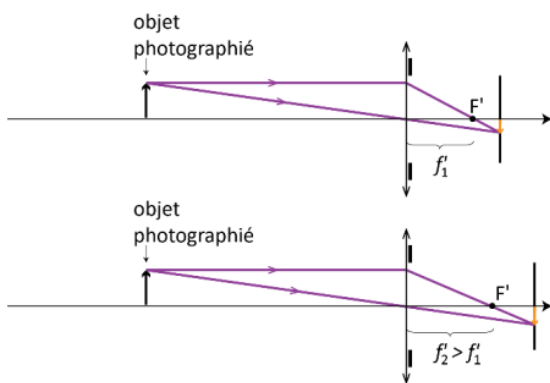


Plus l'objet photographié est éloigné, plus la distance objectif – capteur assurant la mise au point est faible.

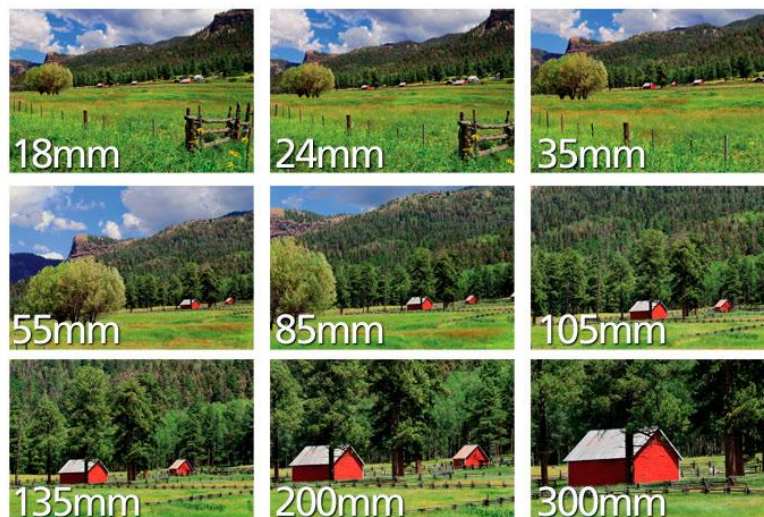
3. Influence de la distance focale de l'objectif

3.1 Influence sur la taille de l'image

Parmi les multiples effets de la focale de l'objectif, le principal du point de vue optique est la taille de l'image. Plus la focale est grande, plus la taille de l'image sera grande.

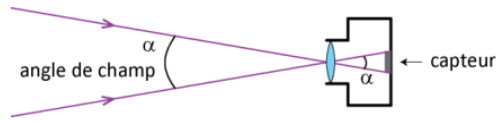


Sur la deuxième figure la distance focale de l'objectif est plus élevée : l'image formée est alors plus grande : on a augmenté le zoom.

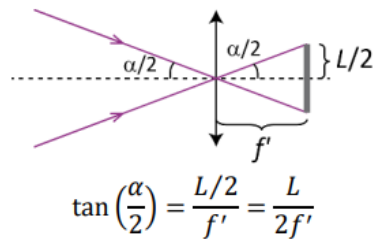


3.2 Influence sur l'angle de champ

L'angle de champ est l'angle entre les deux rayons de lumière qui atteignent les extrémités du capteur en passant par le centre de l'objectif. Il correspond à l'étendue angulaire de la zone photographiée.



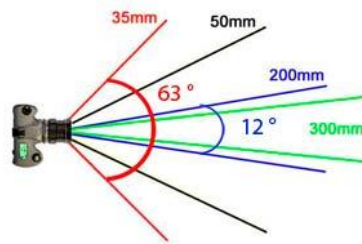
Pour un objet à l'infini :



Les **objectifs standards** du commerce ont une focale égale à $f' = 50 \text{ mm}$. Ces objectifs ont un champ angulaire de 46° pour un plein format, équivalent à celui de l'œil.

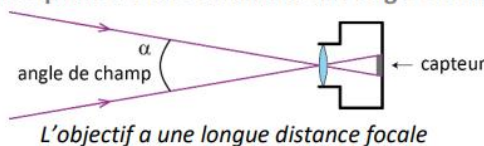
Un **téléobjectif** possède une focale supérieure à celle de l'objectif standard. Le champ angulaire d'un téléobjectif est donc plus faible que celui de l'objectif standard.

Inversement, un **grand angle** a une focale inférieure à celle de l'objectif standard : le champ angulaire sera donc supérieur à celui de l'objectif standard. Cet objectif permet donc d'embrasser une vue très large, et convient donc pour un paysage.

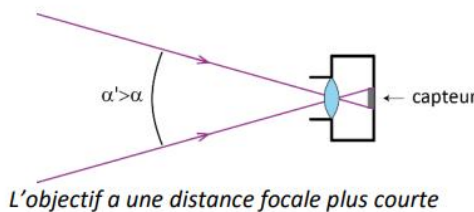


Champs angulaires pour un capteur plein format ou full frame (24 mm × 36 mm)

Conséquence d'une variation de l'angle de champ sur la photographie



la photographie a un angle de champ réduit, soit un fort zoom



la photo a un angle champ plus élevé, soit un plus faible zoom

4. L'exposition

L'exposition est avec la composition (rendu esthétique) une notion fondamentale en photographie.

Une photo correctement exposée est obtenue lorsque la surface sensible a reçu une quantité de lumière appropriée par rapport à la luminosité de la scène que l'on a photographiée.

Cette quantité de lumière dépend des 3 paramètres suivants.

4.1 La sensibilité

En photographie, l'échelle ISO est l'échelle de mesure de sensibilité des surfaces photosensibles. Plus le nombre ISO est élevé, plus la sensibilité de la surface est grande, ce qui permet des photographies à très basse luminosité. **Quand on double l'indice ISO, on diminue de moitié la « quantité de lumière » nécessaire pour exposer correctement la photo.**



F8 - 1/500° sec. - **100 ISO** F8 - 1/500° sec. - **200 ISO** F8 - 1/500° sec. - **400 ISO** F8 - 1/500° sec. - **800 ISO**

Dans cette série, le seul paramètre d'exposition qui change est la sensibilité ISO

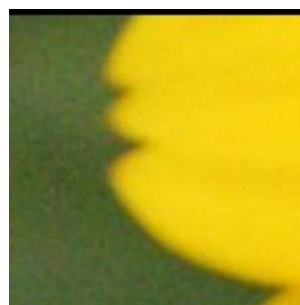
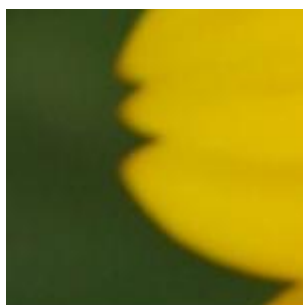
Cela présente toutefois un inconvénient : l'augmentation de sensibilité se fait par amplification du signal électrique recueilli, ce qui génère du bruit et dégrade l'image.



100 ISO, f/5.6, 1/350



1600 ISO, f/5.6, 1/4000



4.2 La vitesse d'obturation

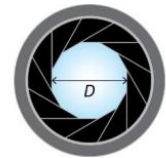
Régler la vitesse d'obturation consiste à régler le temps de pose T, **temps pendant lequel l'obturateur s'ouvre** au déclenchement et donc pendant lequel votre capteur est exposé à la lumière.



Réglages : f/8, 100 ISO

4.3 L'ouverture du diaphragme de l'objectif

L'objectif de l'appareil photographique contient un diaphragme de diamètre D réglable. La taille de l'ouverture détermine la « quantité de lumière » qui va entrer dans l'appareil.



Le **nombre d'ouverture N** d'un objectif désigne le rapport entre la distance focale image f' de cet objectif et le diamètre D de l'ouverture : $N = \frac{f'}{D}$, il est d'autant plus grand que le diamètre de l'ouverture est petit.

La notation la plus couramment utilisée pour les réglages est « f/N ».

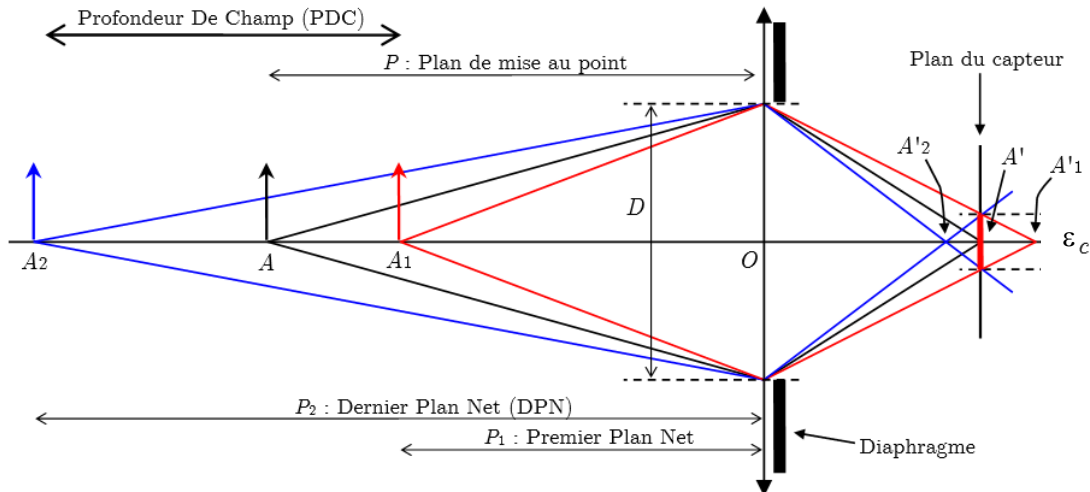


Réglages : 1/125 s, 100 ISO

5. La profondeur de champ

Pour une distance lentille – capteur donnée, il n'existe qu'une unique position permettant de respecter exactement la relation de conjugaison. En dehors de cette position, l'image d'un point n'est pas un point mais une tache. Si celle-ci est suffisamment petite pour n'éclairer qu'un seul des photorécepteurs du capteur, alors la photographie paraît aussi nette que si la relation de conjugaison est respectée.

Considérons un point objet A situé sur l'axe optique donnant un point image sur le capteur. Pour tout autre point objet, le faisceau émergent intercepte le plan du capteur selon une surface. On peut admettre qu'un tel point objet aura une image ponctuelle à l'échelle du capteur tant que la dimension de la tache sur le capteur est inférieure à la taille d'un pixel ϵ_c .

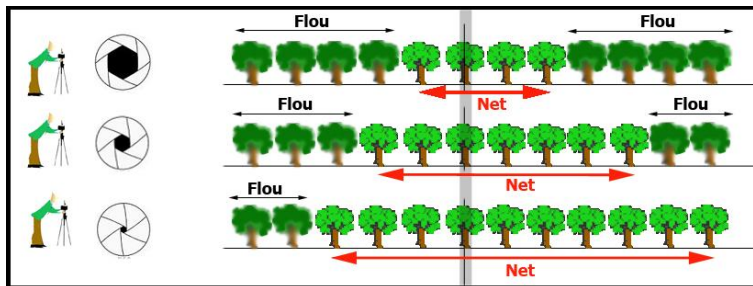


Afin d'obtenir une image nette, l'objet à photographier doit se trouver dans une zone de netteté, entre A_2 et A_1 .

La profondeur de champ (PDC) est la distance entre les deux points extrêmes de l'axe optique dont les images sont vues nettement sur le capteur.

En première approximation : $PDC = \frac{2\epsilon_c d^2 N}{f'^2}$, où d est la distance de mise au point ($d = OA$), f' la distance focale de l'objectif et N le nombre d'ouverture.

Influence de l'ouverture sur la PDC : si D diminue (N augmente), le diamètre de la tache diminue donc la PDC augmente.



Pour un même sujet A visé, la composition de l'image sera fortement modifiée selon l'amplitude de la PDC.

