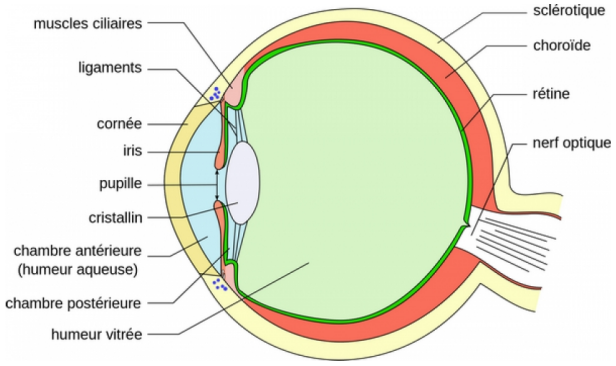
O 3

L'œil et l'appareil photographique

1 L'œil

1.1 Description



▷ L'**iris** joue le rôle d'un diaphragme en limitant l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil. La **pupille** est le trou situé au milieu de l'iris, son diamètre varie de 3 à 7 mm.

▷ Le **cristallin** se comporte comme une lentille. Il fait l'image (renversée) de la situation observée sur :

▷ la **rétine** qui comporte des cellules réceptrices : les cônes et les batonnets,

▷ dont le prolongement constitue le **nerf optique** qui code cette image sous forme électrique et la transmet au cerveau qui l'interprète (retournement de l'image, correction de la distorsion, impression de relief).

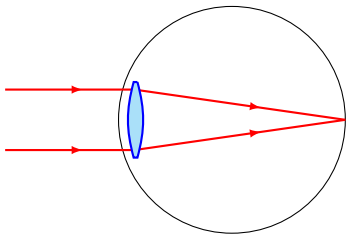
1.2 Caractéristiques de l'œil

Champ angulaire Le champ de l'œil est très important (de 60° à 90°), mais la zone de perception des détails fins correspond à une image formée sur le centre de la rétine, nommée tache jaune, ou macula, est plus réduite.

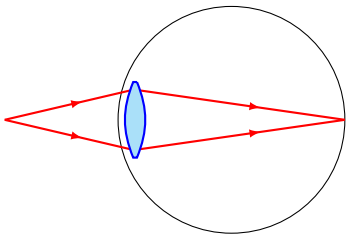
Accomodation L'œil ne voit une image nette que si celle-ci se forme sur la rétine.

Définition. Un œil au repos voit nettement jusqu'à une distance maximale D_m nommée **punctum remotum (PR)**.
En accomodant, l'œil augmente sa convergence et peut alors voir une image nette jusqu'à la distance minimale d_m nommée **punctum proximum (PP)**.

Pour un œil humain normal, le punctum remotum est à l'infini tandis que le punctum proximum est à environ 25 cm (pour l'adulte).



Œil au repos



Œil accomodant

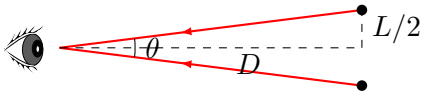
Résolution

Définition. Le **pouvoir de résolution** est l'angle minimal qui doit séparer deux points proches pour qu'ils soient correctement discernés. Ce pouvoir sépérateur angulaire est de l'ordre d'une minute d'angle (1/60 de degré) soit 3×10^{-4} rad.

En efet, l'œil ne peut séparer deux objets que si leurs images sur la rétine sont suffisamment éloignées pour se former sur des cônes différents. Cette résolution dépend du contraste, de l'éclairement, etc.

Application

Quelle distance minimale doit séparer deux objets situés à 5 m de l'œil pour pouvoir les distinguer ?



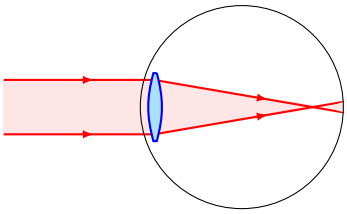
On a $\tan\frac{\theta}{2} = \frac{L/2}{D}$. Or $\tan\frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}$ donc $L = D\theta$. Application numérique : $L = 1{,}5$ mm.

Remarque. L'acuité visuelle, souvent exprimée sur 10, est l'inverse du pouvoir résolution en minute d'arc. Une note de 10/10 correspond à un pouvoir de résolution d'une minute d'arc, une note de 5/10 à un pouvoir de résolution de deux minute d'arc. Il est souvent évalué par un test standardisé basé sur la lecture de lettres de plus en plus petites.

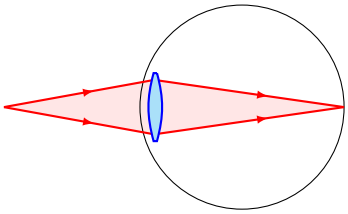
1.3 Défauts de l'œil et corrections

L'œil normal est dit **emmétrope**.

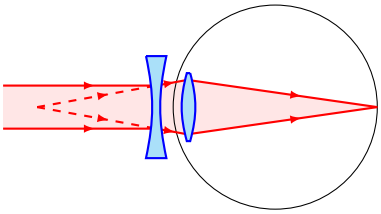
Myopie Un œil myope possède un cristallin trop convergent. Le PP est plus près que pour l'œil normal et le PR est à distance finie. La lentille correctrice est divergente.



Œil myope au repos

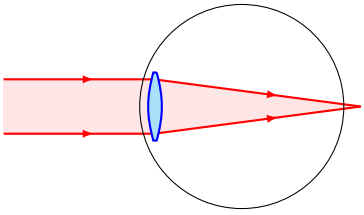


Œil myope au repos

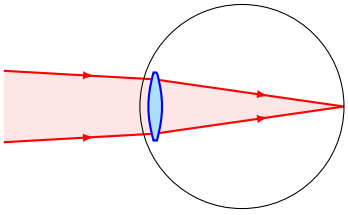


Œil myope corrigé

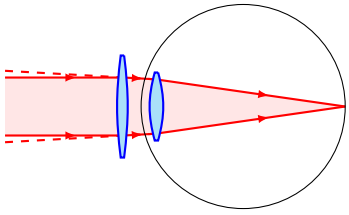
Hypermétropie Dans ce cas, le cristallin n'est pas assez convergent. L'hypermétrope doit accomoder pour voir à l'infini et son PP est plus loin que pour l'œil normal. La lentille correctrice est convergente.



Œil hypermétrope au repos



Œil hypermétrope au repos
(situation impossible)



Œil hypermétrope corrigé

Presbytie Elle est liée au vieillissement de l'œil qui perd sa capacité à accomoder. Cette diminution de la faculté d'accomodation impose l'utilisation de plusieurs lentilles correctrices suivant la distance objet-œil. Des verres à deux ou trois foyers (« verres progressifs ») sont alors nécessaires.

Astigmatisme L'œil ne possède plus la symétrie de révolution. La lentille correctrice ne présente pas de symétrie de révolution.

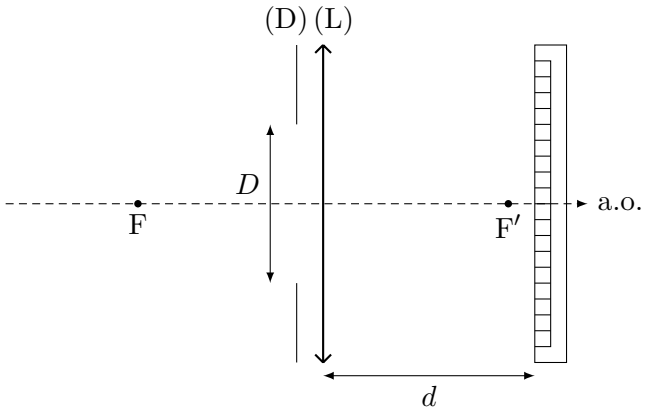
2 L'appareil photographique numérique

2.1 Constitution

L'appareil photographique est un instrument d'optique complexe comprenant plusieurs lentilles et diaphragmes. Cependant, on peut comprendre les grands principes de la technique photographique à l'aide de la modélisation simplificatrice ci-dessous :

— l'objectif d'un appareil photographique est constitué de plusieurs lentilles et diaphragmes : nous le modélisons comme l'association d'un diaphragme circulaire (D) et d'une lentille mince convergente (L). **L'objectif est caractérisé par sa focale (c'est-à-dire distance focale) f' et par le diamètre d'ouverture du diaphragme D.**

— dans les appareils numériques modernes, le capteur lumineux CCD est une matrice de cellules photosensibles : les pixels (*picture element*). Chaque pixel produit un courant électrique dont l'intensité est liée à la quantité de lumière reçue. Le capteur CCD est caractérisé par la taille des pixels (le grain noté g) et sa dimension $L \times l$ en pixels ou en mm.



La distance objectif-capteur, notée d, varie entre f' (mise au point à l'infini) et $f' + \delta$ (mise au point à distance finie minimale). Cette distance δ est appelée tirage de l'appareil photographique.

2.2 Exposition d'une photographie

L'exposition désigne la quantité totale de lumière reçue par la surface sensible pendant la prise de vue. Elle dépend de trois paramètres.

2.2.1 Le temps de pose

Définition. Le **temps de pose** (ou **durée d'exposition** ou **vitesse d'obturation**) est le temps durant lequel la lumière arrive sur le capteur. Ce temps s'exprime en secondes ou fractions de secondes.

Photographies de Greenwich (Londres) de nuit avec différentes durées d'exposition (source : Wikipedia).

Photographies d'une rivière pour différentes durées d'exposition (source : Wikipedia). Les temps en secondes sont : 1, 1/3, 1/30, 1/200, 1/800.

2.2.2 L'ouverture du diaphragme

Définition. Le **nombre d'ouverture** est la grandeur :

$$N = \frac{f'}{D}$$

D désignant le diamètre du diaphragme et f' la focale. Plus N est grand, plus le diaphragme est fermé.

Les valeurs de N couramment rencontrées sont les suivantes :

N	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32

Pour passer d'une valeur de N à celle qui lui est supérieure, on multiplie sa valeur par $\sqrt{2}$. Ainsi, lorsqu'on double le temps d'exposition, il faut augmenter N d'un cran pour retrouver les mêmes conditions d'exposition.

Exemples d'ouverture (source : http://www.tutos-photo.com/).

2.2.3 La sensibilité ISO

Mauvais choix de la sensibilité ISO.

La sensibilité ISO est la mesure de la sensibilité à la lumière des pellicules et des capteurs numériques (l'échelle ISO doit son nom à l'Organisation internationale de normalisation – *International Organization for Standardization* – qui publie les normes la définissant). Plus le nombre ISO est élevé, plus la sensibilité de la surface est grande ce qui permet des photographies de très basse luminosité.
Elle résulte de l'amplification du signal électrique recueilli, ce qui peut générer du bruit et dégrader l'image. C'est généralement assez visible sur des photos de nuit si le réglage de l'appareil est automatique.

2.3 Mise au point et profondeur de champ

2.3.1 Mise au point

Pour réaliser une image nette d'un objet, il faut que l'image correspondante se forme sur le capteur. Pour cela, on règle la distance entre le capteur et la lentille de l'objectif. On dit que l'on réalise la **mise au point**.

Si l'objet est à l'infini, alors l'image se forme dans le plan focal image de l'objectif : $d = f'$. On dit que l'on a fait la mise au point à l'infini.

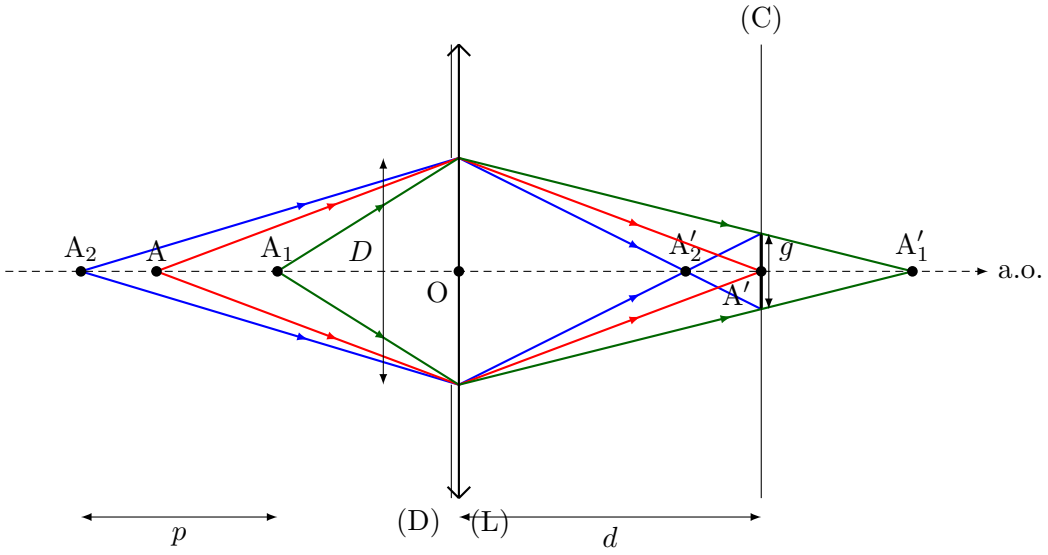
2.3.2 Profondeur de champ

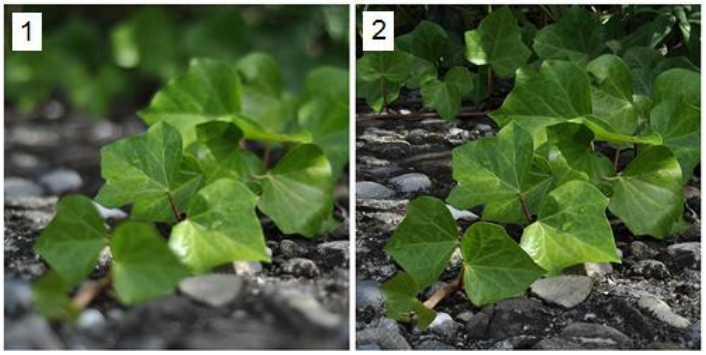
Le capteur n'est pas ponctuel : il est constitué de pixels ayant une certaine extension spatiale (le grain g). Tant que l'image d'un objet sur le capteur sera d'une taille inférieure au grain, tout se passe comme si l'image était ponctuelle.

Définition. La **profondeur de champ** est l'étendue de la zone de netteté (le long de l'axe optique) sur la photographie. C'est la distance entre les éléments nets les plus proches et les plus éloignés sur la photographie.

En première approximation, on peut montrer que $p \approx 2gL^2N/f'^2$ où $L = |\mathrm{OA}|$.

Sur le schéma ci-dessous, la lumière issue de A_1, comme celle issue de A ou de A_2 arrive sur un seul pixel : dans les trois cas, l'image est nette. La distance A_1A_2 est la profondeur de champ.





Exemples de profondeur de champ : à gauche $N = f'/2{,}8$ et à droite $N = f'/16$ (source : http://www.tutos-photo.com/).

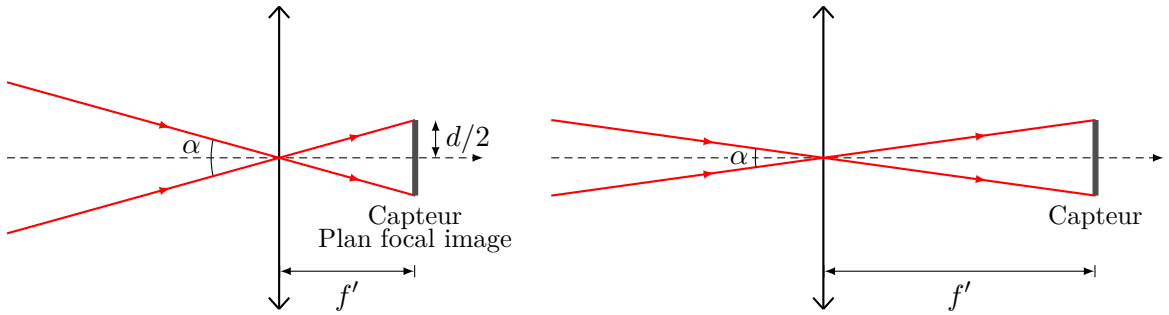
2.4 Champ angulaire

Supposons que la mise au point est faite sur l'infini. L'image se forme dans le plan focal de l'objectif où on place le capteur. Notons d la longueur caractéristique du capteur (largeur ou hauteur de la plaque CCD).

Définition. Le **champ angulaire** est l'angle que peut capter un dispositif optique.

Si on photographie un objet de taille D à une distance L, on a :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{D/2}{L}$$



On a :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{d/2}{f'}$$

Ainsi, si f' diminue, le champ angulaire augmente et inversement. C'est le principe des zooms optiques. En revanche, l'objectif est plus encombrant.

Photographies d'une règle de 20 cm. Entre chaque photographie, seule la focale a été modifiée. Le capteur CCD est de dimension 14,9 mm × 22,3 mm et les photographies ont étés prises à environ 1,7 m de distance.