

1 L'œil ; modèle de l'œil réduit

1.1 Coupe de l'œil

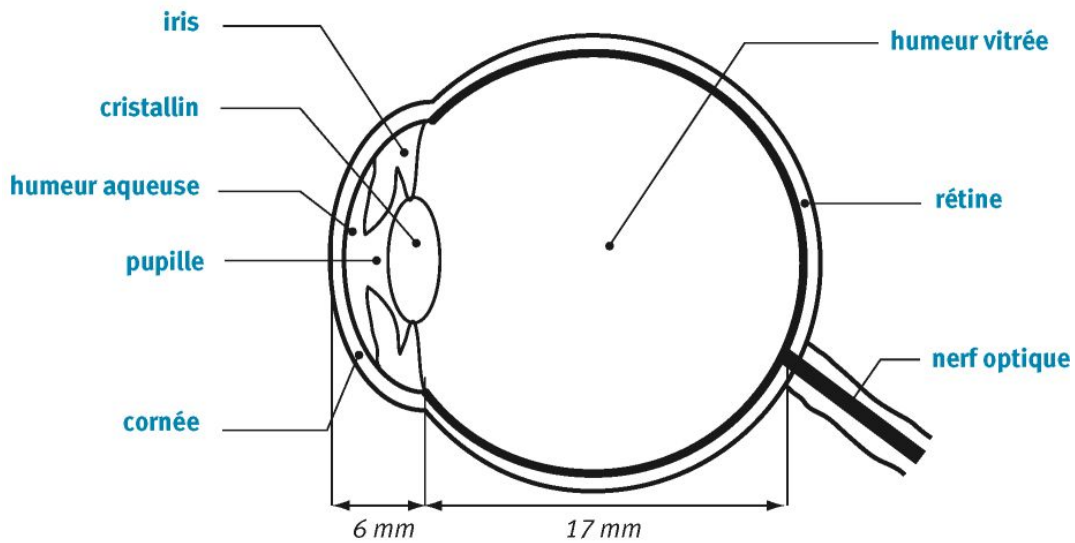


FIGURE 1 – Coupe de l'œil

- La *cornée* et l'*humeur aqueuse* constituent la surface bombée qui sépare l'œil du milieu extérieur ;
- Le *cristallin* est souple et relié à des ligaments ;
- L'*iris* : cloison en forme de disque coloré présentant en son centre une ouverture circulaire de diamètre variable, la *pupille* ;
- La *rétine* : membrane mince située au fond de l'œil ; elle est constituée de cellules nerveuses sensibles à la couleur et à l'intensité lumineuse ;
- Le *nerf optique* envoie les informations de couleur et d'intensité lumineuse en chaque point de la rétine sous forme de signaux électriques au *cerveau* qui traite les informations et crée la vision.

1.2 Modèle de l'œil réduit

La *cornée*, l'*humeur aqueuse* et le *cristallin* se comportent comme une *lentille*.

La *rétine* fait office d'*écran* sur lequel se forme l'image nette de l'objet observé. Elle est placée approximativement à 17 mm du *cristallin*.

En avant du *cristallin*, un *diaphragme* appelé *pupille* (2 - 8 mm de diamètre), limite la quantité de lumière incidente.

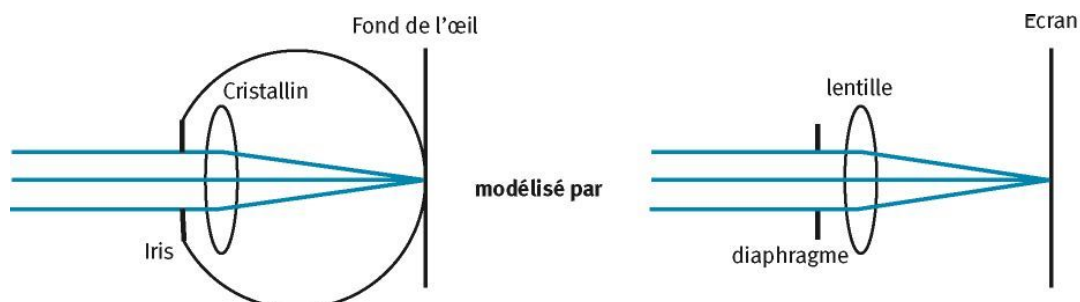


FIGURE 2 – Modèle de l'œil réduit

L'œil est un système optique qui peut être modélisé par un *diaphragme*, une *lentille* et un *écran*.

2 Lentilles convergentes et divergentes : image réelle et virtuelle

2.1 Les lentilles épaisses et les lentilles minces convergentes et divergentes

Une lentille sphérique est constituée d'un milieu transparent (le plus souvent du verre) limité par deux calottes sphériques. Certaines lentilles n'ont qu'une seule face de forme sphérique, l'autre est alors plane (remarque : un plan peut être considéré comme une sphère de rayon infini..). Les lentilles que nous allons étudier sont des *lentilles minces* : leur épaisseur est faible par rapport aux rayons des calottes sphériques (au minimum environ 100 fois).

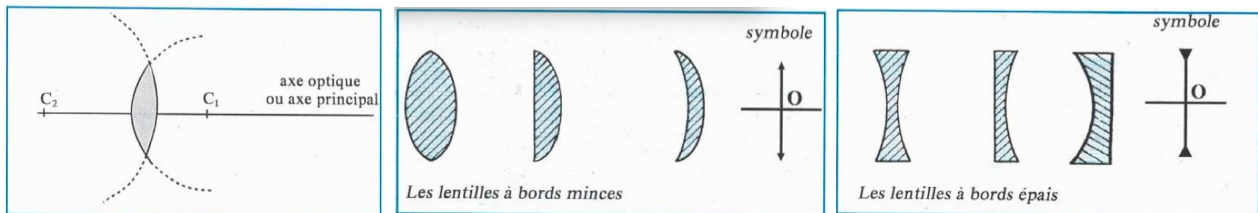


FIGURE 3 – Les lentilles *épaisses* à *bords minces* (biconvexe, plan convexe, ménisque convergent) et *épaisses* à *bords épais* (biconcave, plan concave) et leur symbole lorsqu'on les considère *minces*

Remarque : Il ne faut pas confondre *bords minces* et *lentille mince*. Les lentilles à bords minces comme à bords épais peuvent être épaisses ou minces alors qu'une lentille est soit épaisse soit mince. La notion de lentille mince est lorsque l'épaisseur e tend vers zéro. On fait comme si elles existaient, pour simplifier, et même si cette modélisation nne correspond pas tout à fait à la réalité, c'est à 99 % satisfaisant, dans la plupart des cas).

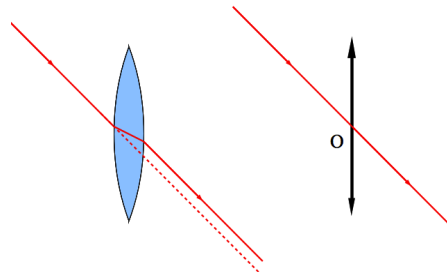


FIGURE 4 – Comparaison entre une lentille épaisse et sa lentille mince correspondante avec un rayon passant par le centre optique O qui n'est pas dévié mais un peu décalé lorsque $e \neq 0$

2.1.1 Lentilles convergentes et divergentes, axe optique et centre optique

Il existe deux types de lentilles : les lentilles convergentes et les lentilles divergentes. Ces lentilles ont un axe de symétrie : l'axe optique. En considérant des lentilles minces on a deux symboles.

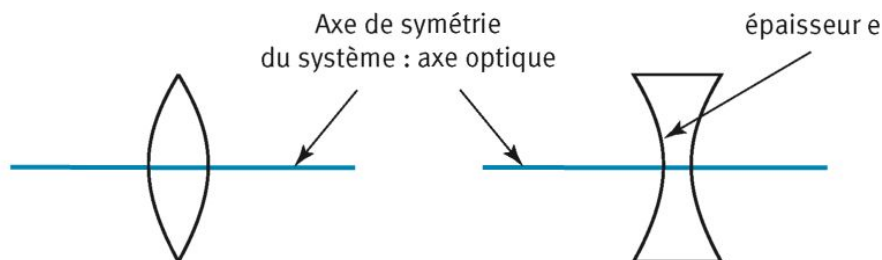


FIGURE 5 – Les lentilles épaisses à bords minces comme à bords épais d'épaisseur $e \neq 0$ possèdent un axe de symétrie (cylindrique dans les systèmes optiques) appelé *axe optique*

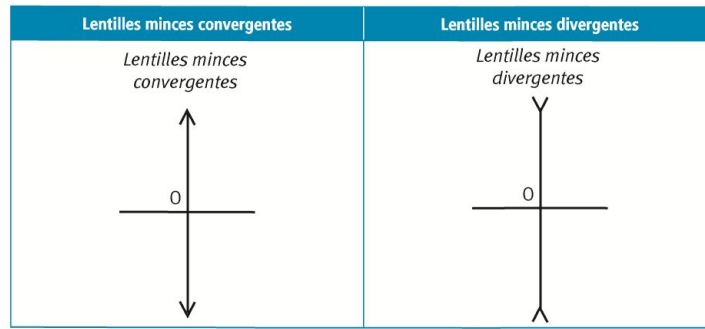


FIGURE 6 – Les deux symboles des *lentilles minces* : à bords minces (*lentilles minces convergentes*) et à bords épais (*lentilles minces divergentes*) avec leur *axe optique* et leur *centre optique* O (point d'intersection entre l'axe optique et le symbole de la lentille mince)

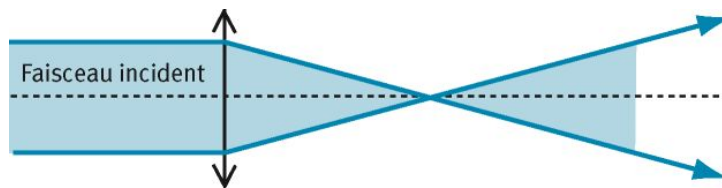


FIGURE 7 – Effet d'une lentille convergente sur un faisceau entrant cylindrique (objet à l'infini), on remarque que les rayons sortants se rapprochent de l'axe optique et on dit qu'ils convergent

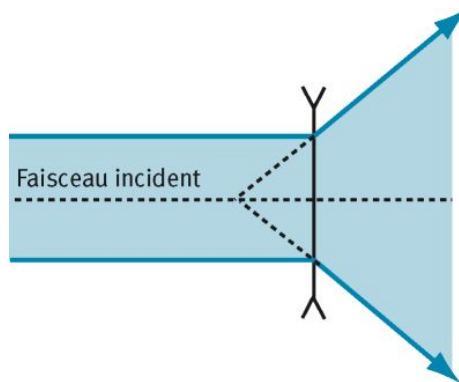


FIGURE 8 – Effet d'une lentille divergente sur un faisceau entrant cylindrique (objet à l'infini), on remarque que les rayons sortants s'éloignent de l'axe optique et on dit qu'ils divergent

Question : Comment distinguer les deux types de lentilles ?

Réponse : **La lentille convergente a des bords plus minces que son centre alors que la lentille divergente a des bords plus épais que son centre.**

2.1.2 Le centre optique

L'axe optique rencontre la lentille en un seul point O appelé centre optique.

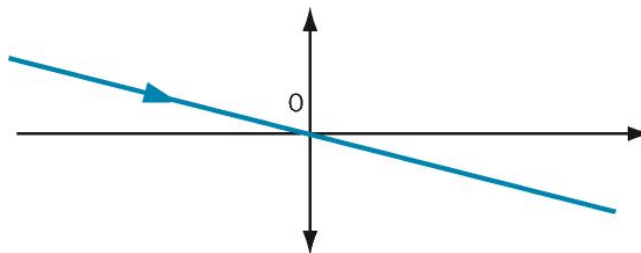


FIGURE 9 – Rayon incident quelconque passant par le centre optique O d'une lentille (convergente comme divergente)

Tout rayon passant par le centre optique d'une lentille ne subit aucune déviation.

2.1.3 Le foyer image F'

Le foyer image F' est le point de l'axe optique où convergent tous les rayons lumineux sortants (ou leurs prolongements) lorsque les rayons incidents sont parallèles à l'axe optique (ce qui correspond à un l'objet A situé à l'infini dans la direction de l'axe optique).

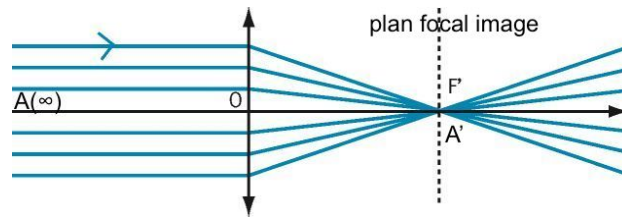


FIGURE 10 – Foyer image F' d'une lentille convergente, c'est là que se forme l'image A' d'un objet A situé à l'infini dans la direction de l'axe optique

L'axe optique étant orienté dans le sens de parcours de la lumière (de la gauche vers la droite par convention), la *mesure algébrique* $\overline{OF'}$ est positive (F' est à droite de l'origine O), elle est appelée *distance focale image* de la lentille et est notée f' : $f' = \overline{OF'} > 0$.

Remarque : Lorsque les rayons incidents sont parallèles entre eux sans être parallèles à l'axe optique (ils proviennent d'un point objet B situé à l'infini mais pas dans la direction de l'axe optique), le point image Φ' est alors situé dans le plan focal image, c'est-à-dire le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image (on parle dans ce cas de foyer secondaire image). Alors qu'il n'y a qu'un seul foyer image (foyer principal), il y a une infinité de foyers secondaires image puisque tous les points du plan focal image en sont).

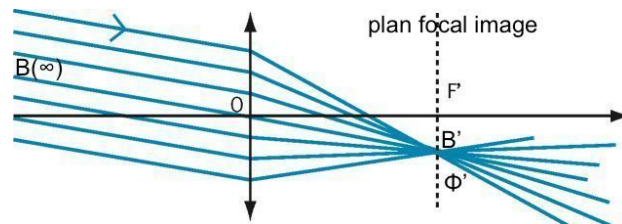


FIGURE 11 – Foyer secondaire image Φ' , c'est là que se forme l'image B' d'un objet B placé à l'infini dans une direction différente de celle de l'axe optique

2.1.4 Le foyer objet F

Pour que des rayons lumineux soient parallèles à l'axe optique après passage dans la lentille (ce qui correspond à une image à l'infini, dans la direction de l'axe optique), il faut que tous les rayons incidents passent par un point F situé sur l'axe optique, appelé *foyer objet*.

Cas d'une lentille convergente

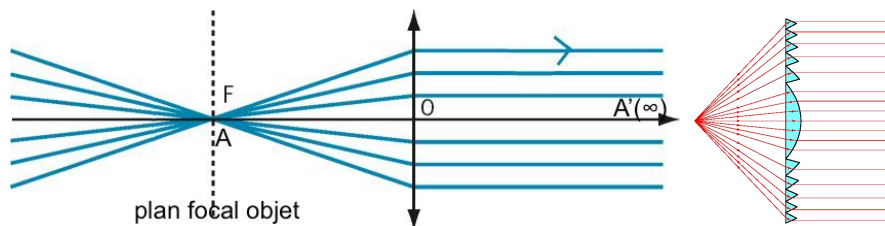


FIGURE 12 – Foyer objet d'une lentille convergente, c'est là qu'il faut placer un objet A pour que son image A' se forme à l'infini dans la direction de l'axe optique. Ceci correspond au cas d'un phare de marine qui envoie ses rayons très loin (30 km) quand on place la lampe au foyer objet F d'une énorme lentille convergente à échelons appelée *lentille de Fresnel*

Les points F et F' sont situés sur l'axe optique à égale distance du centre optique O , on peut donc écrire avec les **mesures algébriques** : $\overline{OF'} = -\overline{OF}$

Le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant F est appelé *plan focal objet*, on a représenté sa trace en pointillés.

2.2 Construction géométrique de l'image d'un objet

2.2.1 Comment obtenir une image à l'aide d'une lentille en TP ?

Avec une lentille convergente on peut former une image nette d'un objet donné à l'aide de trois méthodes :

- Tenir la lentille entre ses doigts par les bords (ne pas toucher la surface du verre pour ne pas la salir avec la transpiration), et l'approcher d'un mur, en face d'une fenêtre à 3-4 m bien éclairée par le soleil puis trouver la bonne distance entre la lentille et le mur pour que l'image de la fenêtre se projette bien nette et bien lumineuse sur le mur (le contraste sera d'autant meilleur que la fenêtre sera bien éclairée et qu'on se trouvera dans une pièce sombre en fermant un peu les rideaux). On remarquera que l'image se forme à l'envers sur l'écran : ce qui était en haut se retrouve en bas, tout ce qui était à droite se retrouve à gauche et inversement ;
- Approcher la lentille tenue entre vos doigts de votre photocopié et observer l'écriture, vous verrez à travers la lentille l'écriture à l'endroit en plus gros (loupe). L'écriture grossie est l'image de l'écriture du photocopie qui, elle, est l'objet (ici, pas d'écran mais un œil, pour voir l'image) ;
- Utiliser un banc d'optique avec une lampe, une lettre objet lumineuse et son support, un diaphragme et son support, une lentille et son support et un écran et son support, le tout pouvant se déplacer sur le banc avec un système de mesure précis des positions (règle graduée), comme indiqué sur la figure 16. Le diaphragme permet d'améliorer la netteté en éliminant les rayons trop écartés de l'axe optique (afin de se placer dans les *conditions de Gauss*). Trouver la bonne distance entre la lentille et l'écran pour avoir une image bien nette (et renversée) sur l'écran lorsque vous déplacerez la lentille (la lettre objet lumineuse, quant à elle, restera toujours fixe sur le zéro de la règle du banc d'optique et la position du diaphragme importe assez peu du moment qu'il est entre la lettre lumineuse objet et la lentille, c'est son ouverture qui compte, plus il est fermé, plus l'image est sombre et nette).

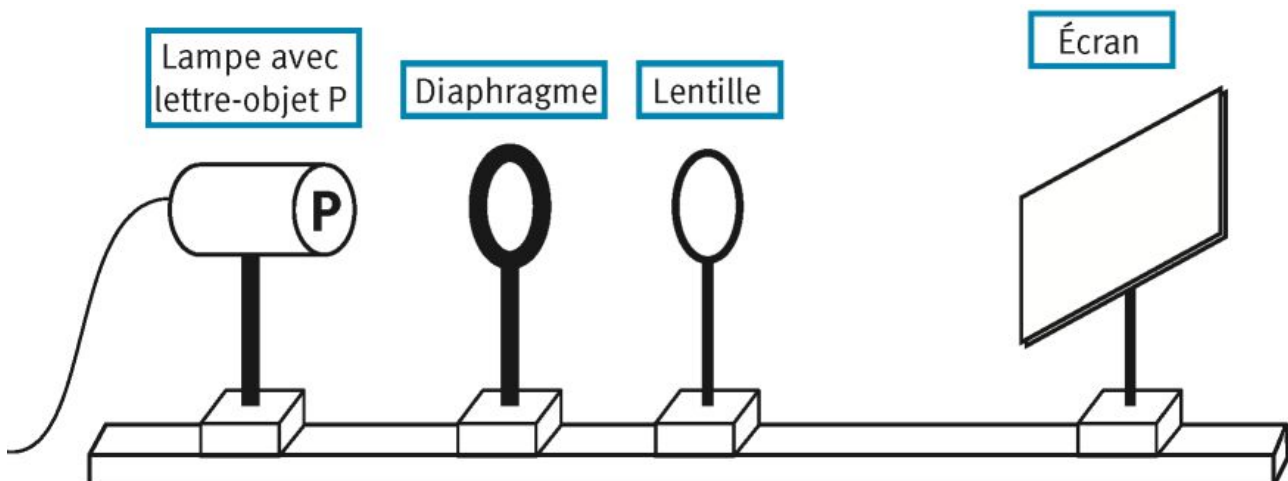


FIGURE 13 – Banc d'optique et ses accessoires, utilisés en TP de physique

2.2.2 Les trois règles pour la construction géométrique de l'image d'un point

Règle n°1 :

Tout rayon, entrant dans la lentille, passant par le centre optique ressort en ne subissant aucune déviation. (1)

Règle n°2 :

Tout rayon, entrant dans la lentille, parallèle à l'axe optique ressort de la lentille en passant, directement ou par prolongement en pointillé, par le foyer image F' . (2)

Règle n°3 :

Tout rayon entrant dans la lentille en passant, directement ou par prolongement en pointillé, par le foyer objet F , ressort de la lentille parallèle à l'axe optique. (3)

2.2.3 Application des trois règles pour construire l'image B' d'un objet ponctuel B avec 3 rayons "utiles" dans le cas d'une lentille convergente

- Le rayon 1 passe par B et par le centre optique O de la lentille, il n'est pas dévié et ressort tel quel ;
- Le rayon 2 passe par B et est parallèle à l'axe optique, il ressort en passant par le foyer image F' ;
- Le rayon 3 passe par B et par le foyer objet F de la lentille, il ressort parallèle à l'axe optique.

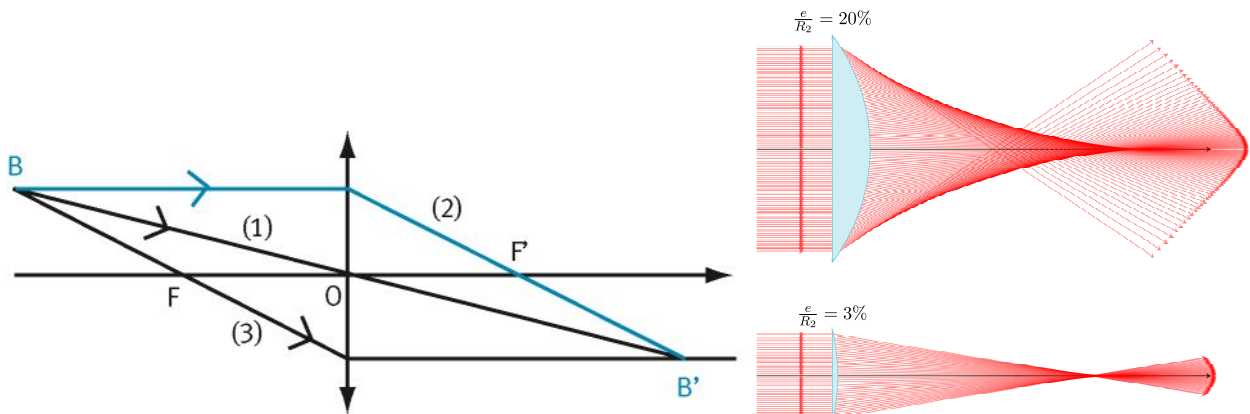


FIGURE 14 – L'utilisation des trois règles de construction et la notion de stigmatisme rigoureux

On remarque que les trois rayons sortant se croisent en un seul et même point. Ce point est le point B' . B' est l'*image ponctuelle* d'un *objet ponctuel* B . Un objet ponctuel est très petit (par exemple une étoile). Lorsque l'image d'un objet ponctuel est elle-même ponctuelle, on parle de *stigmatisme rigoureux*, ce qui correspond à une qualité optimale de l'image. Le stigmatisme rigoureux fonctionne pour une lentille mince, mais c'est un cas idéal et les lentilles réelles (d'épaisseur non nulle) donnent d'un objet ponctuel une image étendue de petite dimension (toute petite tâche au lieu d'un point), on parle alors de *stigmatisme approché*. Lorsqu'on ferme le diaphragme, on se place dans les *conditions de Gauss* (on élimine les rayons trop écartés de la direction de l'axe optique et trop proches des bords de la lentille) et on se rapproche du stigmatisme rigoureux même avec une lentille d'épaisseur non nulle et ceci d'autant plus que l'épaisseur e de la lentille se rapproche de 0 et que le diaphragme est fermé.

2.2.4 Application des trois règles pour construire l'image étendue $A'B'$ d'un objet étendu AB avec 3 rayons "utiles" (lentille convergente)

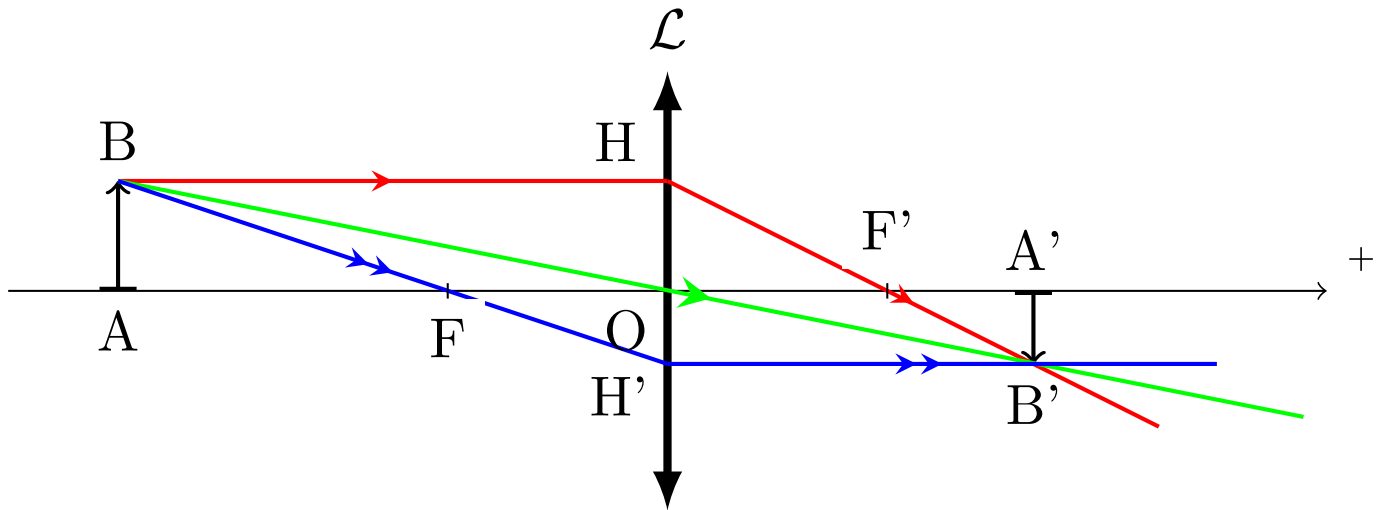


FIGURE 15 – Image étendue $A'B'$ d'un objet étendu AB par la lentille L

Un objet est rarement ponctuel mais étendu, par exemple une personne que l'on regarde ou que l'on photographie est constituée d'une *infinité* de sources ponctuelles juxtaposées. Pour traiter cette source étendue, on la *décomposera en ses points constitutifs* et sur cette multitude de points on ne s'intéressera qu'aux *deux points extrêmes* : le point A , en bas de la source étendue (bas des pieds du sujet), que l'on place conventionnellement sur l'axe optique, et le point B en haut, à l'autre extrémité de la source étendue (haut de la tête du sujet), le tout étant représenté par un segment fléché (la flèche du segment représentant la tête du sujet et le pied du segment fléché, les pieds du sujet).

Pour trouver où se trouve l'*image étendue* $A'B'$ de l'*objet étendu* AB , il suffit de trouver l'*image ponctuelle* de l'*objet ponctuel* A ainsi que celle de l'*objet ponctuel* B .

Pour l'image B' de B , on utilise les trois règles de construction comme on l'a fait dans le paragraphe précédent. Par contre, cette méthode ne fonctionne pas pour le point A sur l'axe optique (les trois rayons "utiles" étant confondus avec l'axe optique). Néanmoins, pour des raisons de symétrie (l'axe optique étant un axe de symétrie de la lentille), *puisque A est le projeté orthogonal de B sur l'axe optique, alors A' est le projeté orthogonal de B' sur l'axe optique*, ce qui permet d'obtenir A' immédiatement.

$A'B'$ est l'image étendue de l'objet étendu AB par la lentille. Comme la flèche va de A vers B pour l'objet, elle ira de A' vers B' pour l'image, là encore pour des raisons de symétrie. On remarque sur la figure 18 que l'image $A'B'$ est renversée (flèche vers le bas) par rapport à l'objet (flèche vers le haut). C'est bien ce que l'on observe expérimentalement avec la fenêtre de la classe qui se projette à l'envers sur le mur de la classe. De même, l'image de la personne aura les pieds en haut et la tête en bas sur la pellicule de notre appareil et sur notre rétine (et c'est notre cerveau qui remet l'image à l'endroit).

2.2.5 Cas de la loupe (lentille convergente)

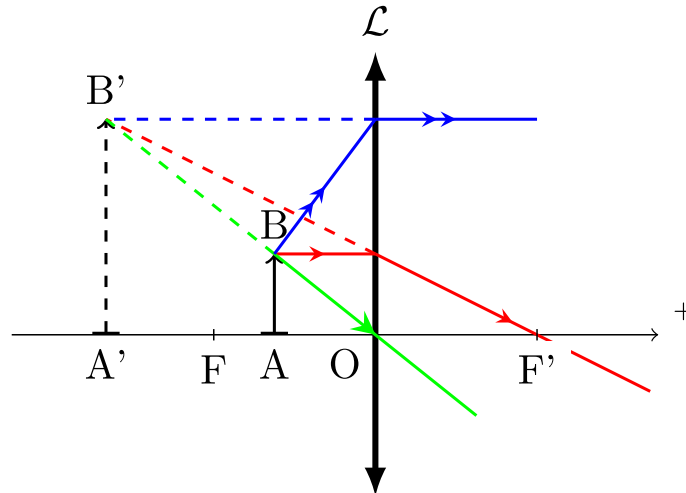


FIGURE 16 – Image étendue $A'B'$ d'un objet étendu AB lorsque l'objet est entre le foyer objet F et le centre optique O de la lentille L

Dans ce cas, les trois rayons sortants *ne se croisent pas directement à droite de la lentille*. Par contre, les *prolongements* des rayons à gauche de la lentille (en pointillés), eux, *se coupent en B'* , qui est l'image de B par la lentille. Si on place l'œil derrière la lentille (à sa droite), on voit $A'B'$ l'image étendue de l'objet étendu AB . Cette image (en pointillés) est visible mais ne peut pas se projeter sur un écran. Elle est dans le même sens que l'objet (droite) et grossie (agrandie). C'est bien ce que l'on observe expérimentalement avec une loupe qui donne une image agrandie et droite des objets observés.

2.2.6 Définition d'une image réelle

Une image réelle est une image qui *peut se projeter sur un écran*. Avec la construction graphique, elle est à *droite* de la lentille, en *traits pleins*. Exemples :

- Projecteur de cinéma ;
- Projecteur de diapositives ;
- vidéoprojecteur d'ordinateur ;
- rétroprojecteur d'une salle de classe.

Par exemple, pour le projecteur de diapositives, la diapositive est l'objet, le dispositif imageur est une lentille *convergente* et l'image se forme **agrandie** et **renversée** sur l'écran puisqu'il faut mettre la diapositive à l'envers pour avoir son image à l'endroit sur l'écran. Pour avoir la netteté, il faut faire une mise au point (en tournant l'objectif pour le mettre à bonne distance de l'objet, en l'occurrence la diapositive, en fonction de la distance entre le projecteur et l'écran).

2.2.7 Définition d'une image virtuelle

Une image virtuelle est une image *qui ne peut pas se projeter sur un écran* mais que l'on peut voir avec votre œil. Avec la construction graphique, elle est à *gauche* de la lentille, en *traits pointillés*. Il faut un autre dispositif imageur, en l'occurrence l'œil, pour pouvoir l'observer (en faisant de cette image virtuelle un objet pour notre œil qui en fera une image réelle sur la rétine). Exemples :

- loupe qui grossit ;
- lentille divergente qui rapetisse ;
- image dans un miroir.

Remarque : Une lentille divergente ne permet pas d'obtenir une image réelle d'un objet placé avant celle-ci (objet réel).

2.2.8 Définition du grandissement

Le grandissement est le rapport de la taille de l'image sur celle de l'objet, affecté d'un signe *négatif* si l'image est *renversée* et *positif* si elle est *droite*. Il est noté gamma minuscule grec : γ .

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

Avec :

- $\overline{A'B'}$: **mesure algébrique** du segment $[A'B']$, c'est à dire la distance en mètres entre A' et B' affectée d'un signe positif si B' est au dessus de l'axe optique (donc de A') et d'un signe négatif si B' est en dessous de l'axe optique (donc de A');
- \overline{AB} : **mesure algébrique** du segment $[AB]$, c'est à dire la distance en mètres entre A' et B' affectée d'un signe positif si B est au dessus de l'axe optique (donc de A) et d'un signe négatif si B est en dessous de l'axe optique (donc de A);
- γ : **grandissement**, sans unité.

Le grandissement donne énormément de renseignements sur les propriétés de l'image :

- $\gamma < -1$: l'image est *renversée* et *agrandie* ;
- $-1 < \gamma < 0$: l'image est *renversée* et *rapetissée* ;
- $0 < \gamma < 1$: l'image est *droite* et *rapetissée* ;
- $\gamma > 1$: l'image est *droite* et *agrandie* ;

Par exemple, le cas de la loupe correspond à $\gamma > 1$ (image agrandie et droite), le cas de l'œil du myope rapetissé derrière son verre correcteur divergent correspond à $0 < \gamma < 1$ (image rapetissée et droite), le cas du miroir plan correspond à $\gamma = 1$ (image droite, de même taille que l'objet), le cas du projecteur de diapositive ou de cinéma correspond à $\gamma < -1$ (image renversée et agrandie) et celui de l'œil correspond à $-1 < \gamma < 0$ (l'image des objets regardés se forme en tout petit et à l'envers sur la rétine, elle est renversée et rapetissée).

On remarquera que *pour un objet réel* (à gauche de la lentille), ce qui sera toujours le cas en première S, l'image est *réelle* si γ est *négatif* (image renversée par rapport à l'objet) et elle est *virtuelle* si γ est *positif* (image droite). De plus, l'image est *agrandie* si la *valeur absolue de gamma est supérieure à 1* ($|\gamma| > 1$) par exemple si $|\gamma| = 3$, cela signifie que l'image est trois fois plus grande que l'objet. Elle est *rapetissée* si la *valeur absolue de gamma est inférieure à 1* ($|\gamma| < 1$). Par exemple, si $|\gamma| = \frac{1}{4} = 0,25$, cela signifie que l'image est 4 fois plus petite que l'objet.

3 Distance focale, vergence

3.1 Distance focale

La distance focale (ou plus exactement distance focale image) est la distance en mètres entre le centre optique O et le foyer image F' de la lentille, affecté d'un signe + (positif) si F' est à droite de O (on va de O vers F' dans le sens positif, c'est à dire dans le sens de propagation de la lumière) et d'un signe - (négatif) si F' est avant O (on va de O vers F' dans le sens négatif, c'est à dire dans le sens contraire de la propagation de la lumière. On utilise pour cela l'outil mathématique mesure algébrique, vu précédemment. La distance focale (image) d'une lentille est notée f' et s'exprime en mètres et est se définit comme la mesure algébrique du segment $[OF']$, notée $\overline{OF'}$:

$$f' = \overline{OF'}$$

3.2 Vergence

La vergence V est définie comme l'inverse de la distance focale image de la lentille et s'exprime en dioptries (dont le symbole est delta minuscule grec : δ).

$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

Remarque : La notion de vergence est très utilisée en ophtalmologie pour les verres correcteurs. Par exemple OD+1, OG-2 signifie qu'il faut un verre correcteur d'une dioptrie pour l'œil droit (hypermétrope léger) et un verre correcteur de moins deux dioptries pour l'œil gauche (myope). *Plus le verre correcteur est puissant plus la valeur absolue de sa vergence est grande (et plus la valeur absolue de la distance focale est petite, puisque ces grandeurs sont inverses l'une de l'autre).* Par contre, en photographie, on préfère parler en distance focale *car plus les téléobjectifs des paparazzi ont une grande distance focale (300 mm, 500 mm, 1000 mm, etc.) plus ils sont puissants.*

4 Formules de conjugaison des lentilles minces

4.1 Formule de position (ou relation de conjugaison)

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = V \quad \text{ou} \quad \frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} = V$$

Avec :

position de l'objet	\overline{OA}	p	en mètres (m)
position de l'image	$\overline{OA'}$	p'	en mètres (m)
distance focale image	$\overline{OF'}$	f'	en mètres (m)
vergence V	$V = \frac{1}{\overline{OF'}}$	$V = \frac{1}{f'}$	en dioptries (δ)

4.2 Formule du grandissement

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p}$$

Avec :

grandissement	γ	sans unité
taille de l'objet	\overline{AB}	en mètres (m) ou en millimètres (m)
taille de l'image	$\overline{A'B'}$	dans la même unité que la taille de l'objet

4.3 Retour sur la notion réel et virtuel par rapport aux formules de conjugaison

	à gauche de (ou avant) la lentille	à droite de (ou après) la lentille
position de l'objet $p = \overline{OA}$	$p = \overline{OA} < 0$ objet réel	$p = \overline{OA} > 0$ objet virtuel (hors programme)
position de l'image $p' = \overline{OA'}$	$p' = \overline{OA'} < 0$ image virtuelle	$p' = \overline{OA'} > 0$ image réelle

	objet réel	objet virtuel (hors programme)
image réelle	$p = \overline{OA} < 0$ $p' = \overline{OA'} > 0$ $\gamma = \frac{p'}{p} < 0$	$p = \overline{OA} > 0$ $p' = \overline{OA'} > 0$ $\gamma = \frac{p'}{p} > 0$
image virtuelle	$p = \overline{OA} < 0$ $p' = \overline{OA'} < 0$ $\gamma = \frac{p'}{p} > 0$	$p = \overline{OA} > 0$ $p' = \overline{OA'} < 0$ $\gamma = \frac{p'}{p} < 0$

En conclusion, lorsque l'objet et l'image sont de même nature, le grandissement est négatif (image renversée) alors que lorsqu'elles ne sont pas de même nature, le grandissement est positif (image droite).

Inversement, on peut dire que si l'image est renversée (grandissement négatif), alors l'objet et l'image sont de même nature alors que lorsqu'elle est droite (grandissement positif), ils sont de nature différente.

4.4 Intérêt des formules de conjugaison

Il y a deux équations dans les formules de conjugaison ainsi que quatre inconnues qui sont :

- $p = \overline{OA}$, **la position de l'objet** par rapport à la lentille (qui est une variable) ;
- $f' = \overline{OF'}$, **la distance focale** image de la lentille (qui est une caractéristique de la lentille, donc une constante) ;
- $p' = \overline{OA'}$, **la position de l'image** par rapport à la lentille (qui est variable et dépend des deux inconnues précédentes) ;
- γ , **le grandissement** (qui dépend des trois inconnues précédentes).

Comme il n'y a pas autant d'équations que d'inconnues, *il n'y a pas de solution unique au problème*. Par contre, *si on fixe deux inconnues*, il restera deux inconnues avec deux équations, et on pourra trouver la solution unique du problème. Le plus souvent, on fixe la distance focale (écrite sur la lentille qu'on utilise en TP, par exemple $f' = 200$ mm) ainsi que la position de l'objet. Sur le banc d'optique, on écarte plus ou moins la lentille de la source lumineuse et on mesure la position de la lentille pour en déduire la position de l'objet, par exemple $p = -300$ mm, si en mettant la lampe au zéro, la lentille est à l'abscisse 300 mm de la règle graduée du banc d'optique (ne pas oublier le signe négatif, qui signifie que l'objet est avant la lentille, et qui signifie également que la lettre lumineuse est un objet réel). La résolution des deux équations nous donnera la position de l'image (endroit où il faudra placer l'écran pour que l'image soit nette, dans le cas où elle serait réelle) ainsi que son grandissement γ , qui nous permettra de trouver la taille de l'image et son sens, à condition de connaître celle de l'objet (les lettres lumineuses font une taille fixe de 20 mm soit $\overline{AB} = 20$ mm, en général. Mais même si on ne connaît pas exactement la taille de l'objet, on saura, grâce au grandissement si l'image est droite ou renversée, agrandie ou rapetissée et combien de fois elle est plus grande ou plus petite que l'objet.

Exemple : je connais p et f' et je calcule p' et γ

	distance focale $f' = \overline{OF'}$	position de l'objet $p = \overline{OA}$	position de l'image $p' = \overline{OA'}$	grandissement $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p}$
données	$f' = 200 \text{ mm}$ $f' = 0,2 \text{ m}$	$p = -300 \text{ mm}$ $p = -0,3 \text{ m}$	$p' = ?$	$\gamma = ?$
calculs			$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$ $\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{-0,3} + \frac{1}{0,2}$ $\frac{1}{p'} = \frac{0,2}{1 \times 0,2} - \frac{0,3}{1 \times 0,3}$ $\frac{1}{p'} = \frac{0,2 \times 3}{3} - \frac{0,3 \times 2}{2} = \frac{0,6}{3} - \frac{0,6}{2} = \frac{1}{0,6}$ $p' = \frac{0,6}{1} = 0,6$ $p' = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$	$\gamma = \frac{p'}{p}$ $\gamma = \frac{p'}{p} = \frac{0,6}{-0,3}$ $\gamma = -\frac{6}{3} = -2$
résultat	$f' = 200 \text{ mm}$	$p = -300 \text{ mm}$	$p' = 600 \text{ mm}$	$\gamma = -2$

Conclusion : il faut placer l'écran 600 mm derrière la lentille (c'est à dire à l'abscisse 300 + 600 = 900 mm par rapport au zéro du régllet du banc d'optique, situé au niveau de la lettre lumineuse) pour obtenir une image nette. L'image est réelle, renversée (grandissement négatif), agrandie (la valeur absolue du grandissement est supérieure à 1) et deux fois plus grande que l'objet. Par exemple, si l'objet mesure 2 cm, l'image mesurera 4 cm sur l'écran.

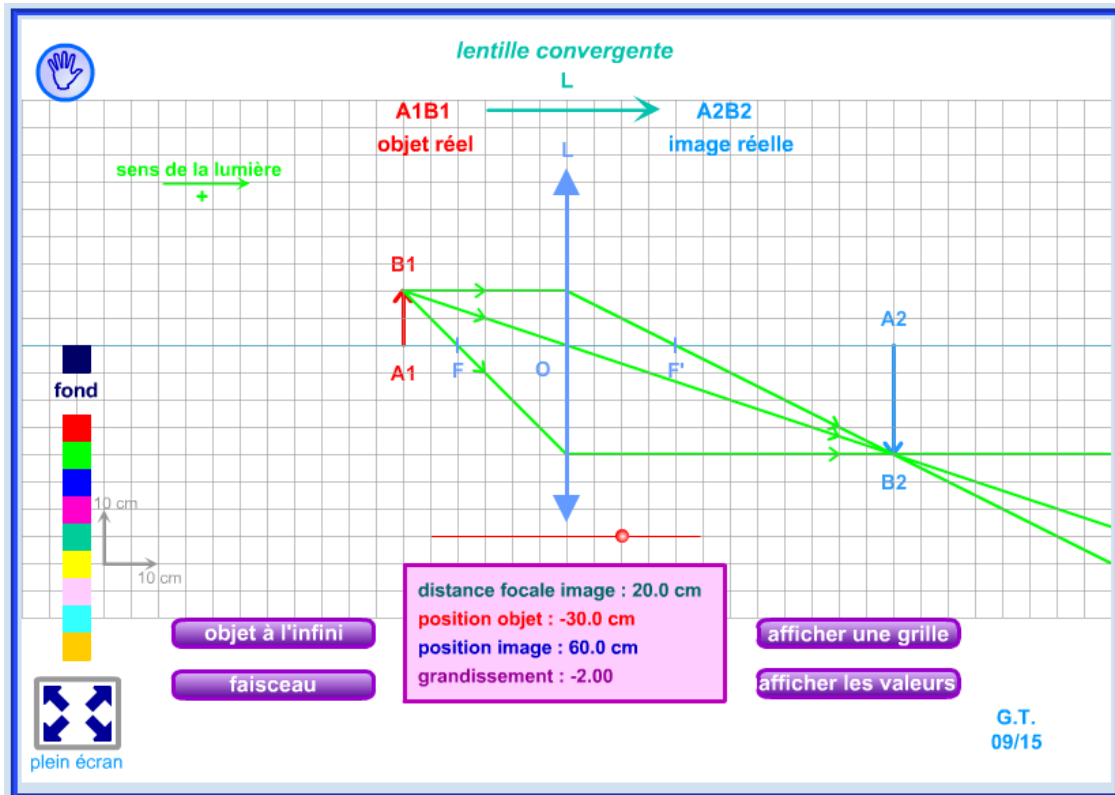


FIGURE 17 – Vérification avec l'animation de Geneviève Tulloue sur le site université de Nantes

5 La myopie et l'hypermétropie

5.1 La myopie

La myopie se caractérise par le fait de **voir flou les objets à l'infini** (partir de 5 m). Pour une vision nette, l'image doit se former exactement sur la rétine. Dans le cas de la myopie, cette focalisation a lieu **en avant de la rétine** lorsque l'objet est situé à l'infini (voir figure 18), c'est-à-dire quand il est suffisamment loin pour que les rayons lumineux parviennent à l'œil de manière parallèle. On dit que l'œil est *trop long* ou qu'il est trop convergent. Ainsi, les objets éloignés paraissent flous. Puisque l'œil est trop convergent, on le corrige avec une lentille divergente.

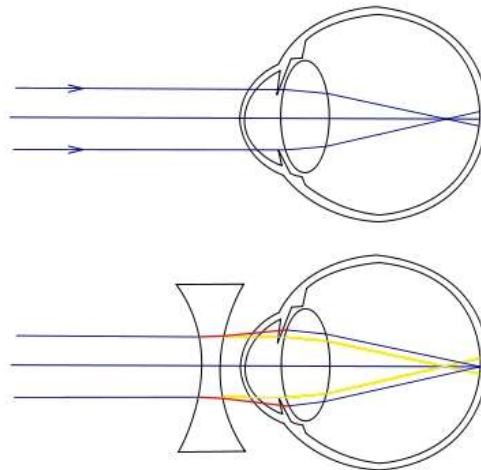


FIGURE 18 – Œil myope et œil myope corrigé avec une lentille divergente

5.1.1 L'hypermétropie

L'hypermétropie est un défaut de la vision se caractérisant par une vision floue des objets situés à proximité. Elle s'explique par la formation de l'image en arrière de la rétine. La plupart des nourrissons et des enfants sont hypermétropes, mais le défaut est naturellement corrigé par la croissance oculaire. Cependant, chez certains, cette restauration n'est pas complète, ils conservent ainsi leur hypermétropie. On dit que l'œil est *trop court* ou qu'il n'est pas assez convergent. Puisque l'œil n'est pas assez convergent, on le corrige avec une lentille convergente.

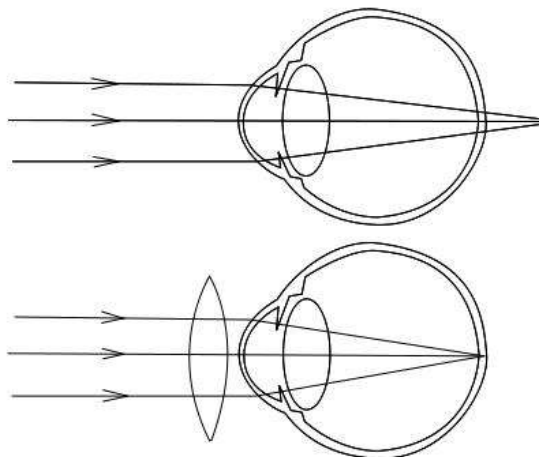


FIGURE 19 – Œil hypermétrope et œil hypermétrope corrigé avec une lentille convergente

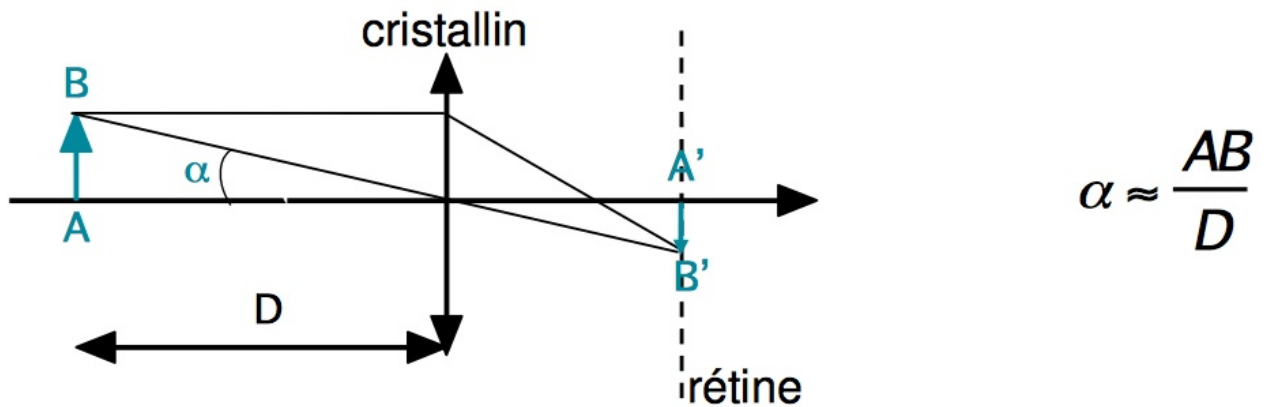
6 Spécificités de la vision humaine

6.1 La vision stéréoscopique (en 3D)

Nous avons tous à l'esprit que notre perception du relief est due au fait que nous avons deux yeux. En effet, lorsqu'on observe un objet, chaque œil reçoit une image différente de cet objet de part sa position par rapport à lui. L'image reçue par l'œil gauche est donc légèrement décalée par rapport à celle reçue par l'œil droit, et c'est la combinaison de ces deux images par notre cerveau qui nous procure l'effet de relief.

6.2 La notion de pouvoir séparateur de l'œil

Pouvoir séparateur ε : angle minimal permettant de séparer visuellement deux points de l'objet, lié à l'angle entre deux cellules de la rétine.



A et B soient résolus : $\alpha > \varepsilon$

Pour un **œil normal**, $\varepsilon \approx 3 \cdot 10^{-4}$ à $4 \cdot 10^{-4}$ rad ou 1'
correspond à une pièce de 1 € vue à 76 m

FIGURE 20 – Pouvoir séparateur de l'œil humain

6.3 La notion de persistance rétinienne

La persistance rétinienne est la capacité de l'œil (et du cerveau) à superposer une image déjà vue aux images que l'on est en train de voir. Elle résulte du temps de traitement biochimique des signaux optiques par la rétine et le cerveau. Elle est plus forte et plus longue si l'image observée est lumineuse. Il existe deux types de persistance rétinienne : La persistance positive, rapide (durée d'environ 50 ms) de la couleur de l'image qui persiste. La persistance négative plus longue due à une exposition prolongée à une forte intensité lumineuse. Une trace sombre de l'image persiste durant plusieurs secondes. Cette propriété de l'œil est utilisée par le *cinéma* et la *télévision* pour donner l'impression d'un mouvement continu à partir d'une séquence d'images. Il faut 10 images par seconde au minimum pour ne plus voir de saccades (soit 1/10 ème de seconde soit 100 ms entre deux images, au maximum).

6.4 La vision des couleurs

6.4.1 L'œil et la vision des couleurs

Cônes dans l'œil humain, sur la rétine

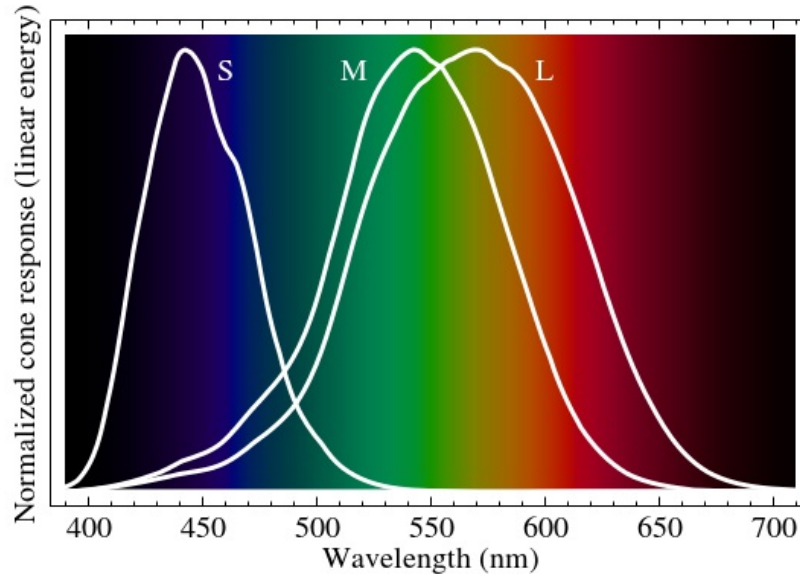


FIGURE 21 – Sensibilité maximale pour chaque type de cône

Type de cône	Nom	Gamme	Longueur d'onde maximale
S	β	400–500 nm	420–440 nm
M	γ	450–630 nm	534–555 nm
L	ρ	500–700 nm	564–580 nm

Une gamme de longueur d'onde stimule chacun de ces photorécepteurs de façon différente. La lumière jaune-vert, par exemple, stimule les cônes L et M de la même manière mais ne stimule les cônes S que faiblement. À l'inverse, la lumière rouge stimule les cônes L beaucoup plus que les cônes M, et très difficilement les cônes S. La lumière bleu-verte stimule les cônes M plus que les cônes L et les cônes S sont un peu plus stimulés. Il s'agit du stimuli maximal pour les bâtonnets. La lumière bleu stimule les cônes S plus fortement que la lumière rouge ou verte, mais les cônes L et M sont faiblement stimulés. Le cerveau combine les informations reçues par chaque type de photorécepteurs et crée alors différentes perception de différentes longueurs d'onde lumineuse.

Couleurs dans le cerveau humain

C'est le cerveau qui fabrique les couleurs à partir des informations envoyées par les trois sortes de cellules cônes. Par exemple, en excitant les cellules cône sensibles au vert (M) et les cellules cône sensibles au rouge (L), le cerveau fabriquera du jaune (on peut donc fabriquer du jaune avec des sources de lumière qui ne sont pas jaunes (en pratique, on mélange des lumières rouge et vertes et le cerveau voit du jaune alors qu'il n'y a pas de lumière jaune).

6.4.2 Défauts la vision des couleurs : le daltonisme

L'opsine présente dans les cônes L et M est encodé dans le chromosome X et une erreur dans ce chromosome conduit aux deux formes principales de daltonisme. Cette maladie génétique est transmise par la mère (porteuse mais non atteinte puisque l'un seulement de ses chromosomes X est touché) aux garçons (XY) et beaucoup beaucoup moins rarement aux filles (il faudrait que les deux chromosomes X soient touchés). Cela se traduit classiquement en pratique par le fait que les daltoniens ne peuvent pas reconnaître une tomate mûre d'une tomate verte, ce qui est un handicap si on travaille chez un maraîcher.

6.4.3 Différence entre couleur spectrale et couleur perçue

On appelle couleur spectrale une couleur qui correspond à une lumière dont le spectre ne présente qu'une unique radiation (donc une lumière monochromatique). Par exemple la lampe à sodium qui donne une lumière monochromatique jaune (à cause de la raie jaune que l'on trouve dans son spectre).

On appelle couleur perçue l'impression visuelle donnée par une lumière. Une couleur perçue n'est pas forcément une couleur spectrale. Une couleur perçue est différente d'une couleur spectrale si :

- Elle ne figure pas dans le spectre de la lumière blanche (le cyan par exemple) ;
- Son spectre comporte plusieurs radiations donc plusieurs couleurs (c'est une lumière polychromatique).

Par exemple, le cerveau ne pourra jamais faire la différence entre du vrai jaune monochromatique (couleur spectrale) et du faux jaune qui serait un mélange de rouge et de vert (polychromatique). Ce faux jaune est appelé "couleur perçue".

7 Fonctionnement comparé de l'œil et d'un appareil photographique

7.1 Description de l'appareil photographique

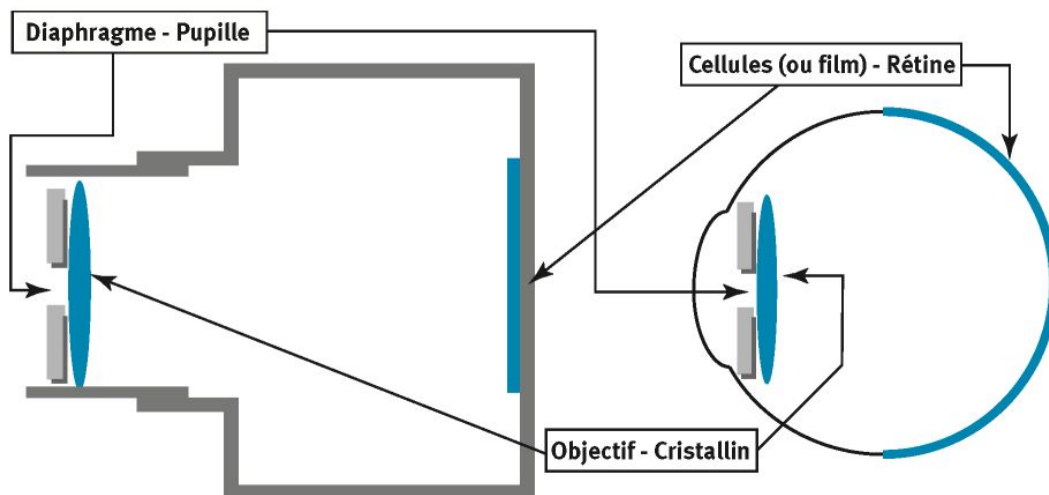


FIGURE 22 – Schéma comparatif entre l'appareil photo et l'œil

Un appareil photographique est constitué d'un **objectif** et d'un « **capteur d'images** » (**pellicule** ou **cellules**).

Le **boîtier** de l'objectif comprend :

- un **ensemble de lentilles**,
- un **diaphragme**,
- et un **obturateur**.

Un capteur photographique est un composant électronique photosensible.

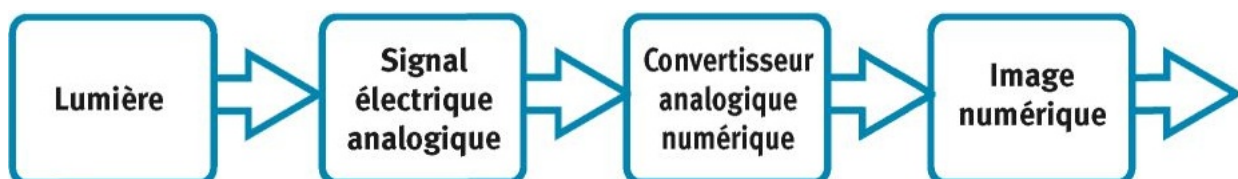


FIGURE 23 – Principe de fonctionnement des appareils photographiques numériques (APN)

Le **capteur** convertit la lumière en un signal électrique analogique.

Ce signal est ensuite numérisé par un convertisseur analogique-numérique après avoir été amplifié. Le signal permet d'obtenir une image numérique.

Le capteur est l'équivalent de la *pellicule* en photographie argentique.

7.2 Mise au point

La mise au point est l'opération qui consiste à régler la netteté de l'image. Dans le cas de l'œil, on parle d'accommodation : les muscles ciliaires rendent le cristallin de plus en plus bombé donc de plus en plus convergent au fur et à mesure que le sujet regardé s'approche de nous, afin que son image se forme toujours au niveau de la rétine puisque le diamètre de l'œil est constant. Dans un appareil photographique, la mise au point se fait par déplacement de l'objectif (on augmente la distance entre le centre optique O et le capteur pour obtenir la meilleure netteté du sujet photographé possible). Elle est optimale quand la surface des capteurs coïncide avec le plan où se forme l'image. Lorsque l'objet est très éloigné (à l'infini), son image se forme **dans le plan focal image de l'objectif contenant le foyer image F' de l'objectif**. La distance entre l'objectif et l'image est alors *la plus courte*. À mesure que l'objet se rapproche, son image s'éloigne : on doit d'autant plus écarter l'objectif de la surface sensible que l'objet à photographier est proche car il se forme alors derrière le plan focal image donc derrière le foyer image F' de l'objectif, d'autant plus loin que l'objet est proche.

8 L'appareil photo type Réflex (numérique)

8.1 Description

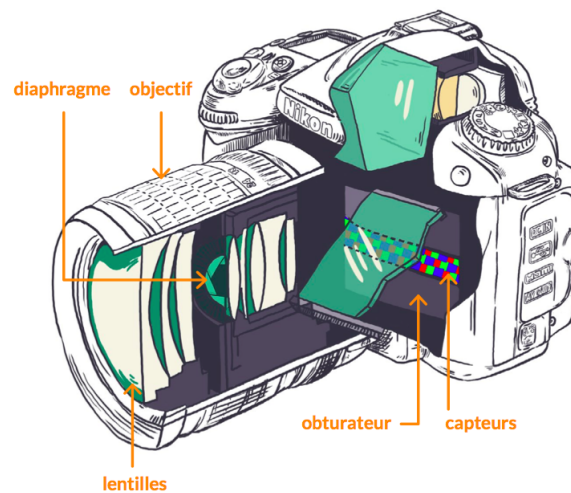


FIGURE 24 – Appareil photo Reflex 24x36 numérique (APN : appareil photo numérique)

Un appareil photographique est composé :

- d'un objectif constitué de *lentilles*. Il permet de faire converger les rayons lumineux sur les capteurs.
- de *capteurs*. Ils permettent de convertir la lumière en un signal électrique. En modifiant l'ISO, on peut modifier la sensibilité des capteurs.
- d'un *diaphragme*. C'est une ouverture circulaire qui permet de contrôler la quantité de lumière pénétrant dans l'appareil (exposition). En modifiant le nombre d'ouverture N , on change la taille de l'ouverture du diaphragme.
- d'un *obturateur*. C'est un rideau qui s'ouvre et se ferme pendant un certain temps appelé temps de pose.

8.2 Paramètres à régler

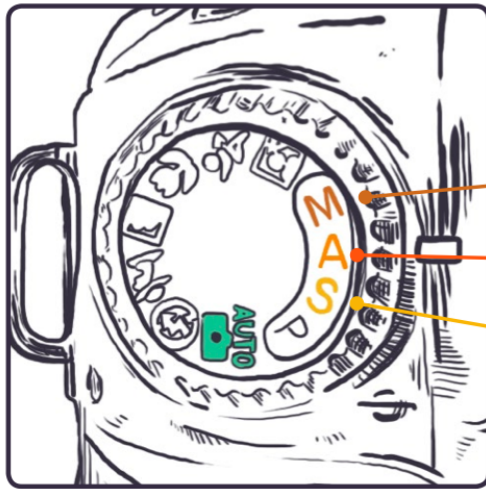


FIGURE 25 – Paramètres à régler sur l'appareil photo et bagues sur les objectifs

Avant de réaliser ses prises de vues, le photographe doit régler plusieurs paramètres. En voici quelques uns :

- A : mode de prise de vue.
- 1/15 : temps de pose en secondes (s), commande l'obturateur.
- f/8 : diamètre de l'ouverture du diaphragme en millimètres (mm) f étant la distance focale de l'objectif utilisé (interchangeable) en millimètres (mm).
- 8 : nombre d'ouverture du diaphragme, sans unité, noté N.
- 100 ISO : sensibilité ISO, commandant l'amplification du signal des capteurs photosensibles.
- WB auto : il s'agit de la balance des blancs (white balance) mise en mode automatique.
- +/- 1EV : il s'agit de la correction d'exposition (pour surexposer ou sous-exposer volontairement d'un ou plusieurs "crans").

8.3 Exposition semi-automatique priorité vitesse, priorité diaphragme ou manuelle



- **mode M (manuel)**

Il permet de régler le nombre d'ouverture et le temps de pose afin de gérer la profondeur de champ et de contrôler le mouvement. Néanmoins, le photographe devra modifier l'exposition.

- **mode A (priorité diaphragme)**

Il permet de régler le nombre d'ouverture. Le temps de pose est géré par l'appareil photo. Le photographe peut modifier la profondeur de champ.

- **mode S (priorité vitesse)**

Il permet de régler le temps de pose. Le nombre d'ouverture est géré par l'appareil photo. Le photographe peut alors gérer les objets en mouvement.

FIGURE 26 – 3 principaux modes de prise de vue

8.4 Catégories d'objectifs

Un objectif est un système de lentilles qui forme une image des objets placés devant lui. Ce système peut se composer de plusieurs ensembles de lentilles se déplaçant les unes par rapport aux autres pour faire la mise au point. L'objectif d'un appareil photo est toujours convergent et de distance focale positive.

Pour simplifier, on peut considérer un objectif comme une lentille convergente. Les rayons qui arrivent parallèles à l'axe optique convergent en un point appelé foyer image (F'). La distance focale, appelée plus simplement la focale par les photographes est la distance en millimètres entre le centre optique O du système optique et le foyer image F' . On classe les objectifs en fonction de cette distance.

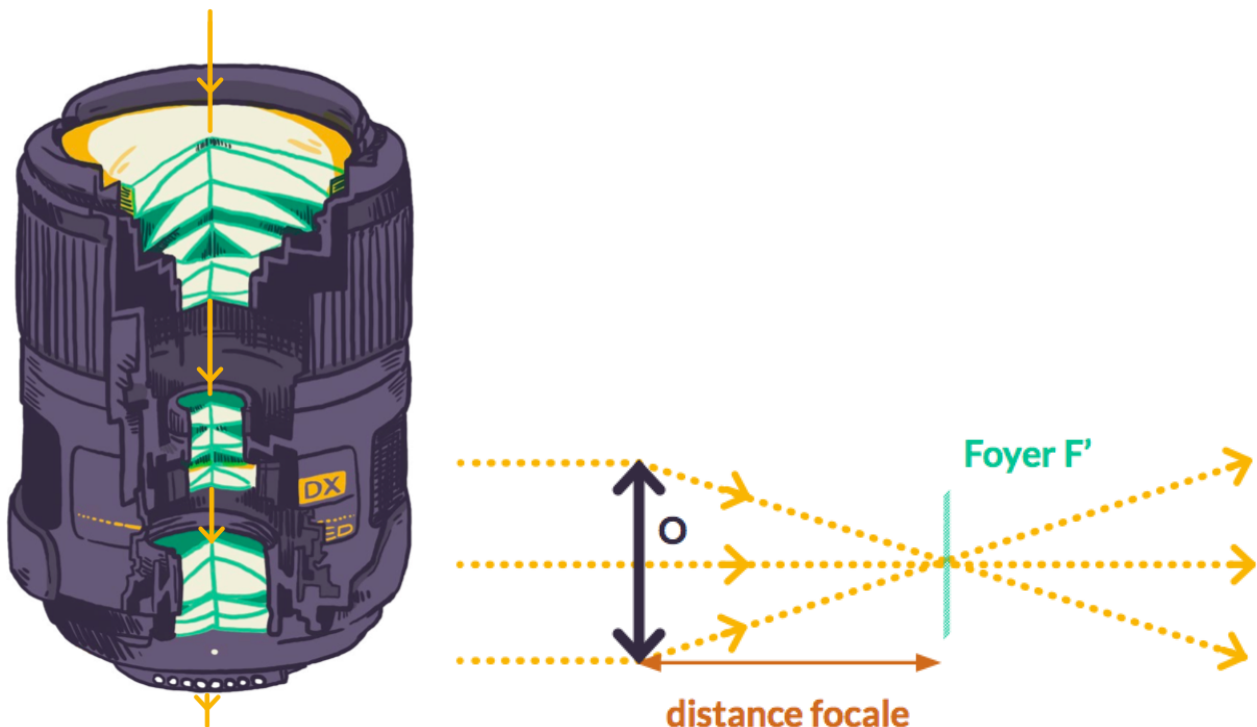


FIGURE 27 – Un objectif possède une focale f exprimée en millimètres

On distingue trois types (plus la focale est grande, plus l'angle d'ouverture est petit et inversement, plus la focale est petite, plus l'angle d'ouverture est grand) :



FIGURE 28 – Grand angulaire $f' < 35$ mm, objectif standard 50mm et téléobjectif $f' > 135$ mm

Dans la pratique, la distance focale est l'un des paramètres qui influent sur l'angle de champ (angle en degrés, auquel un appareil photo est capable de capturer la scène photographiée). Si la distance focale est réduite (on parle alors d'objectif grand-angle ou de courte focale), cela signifie que les lentilles qui composent l'objectif sont proches du plan sur lequel se forme l'image et que l'angle de champ est grand. À l'inverse, si la distance focale est élevée (on parle alors de téléobjectif ou de longue focale), cela signifie que les lentilles de l'objectif sont éloignées du plan sur lequel l'image se forme et que l'angle de champ est restreint.

Un autre paramètre influe : la taille de la surface photosensible utilisée. L'angle de champ correspondant à chaque focale était facile à déterminer, dans la mesure où le film 35 mm (correspondant au format 24x36) constituait le standard le plus utilisé en cinéma et en photographie. Si l'on utilise un appareil 24x36 (en argentique ou en numérique), on sait qu'une focale de 28 mm équivaut un angle de champ de 75° et correspond ainsi à un objectif grand-angle. Disposant d'un angle de champ de 47° relativement proche de celui de la vision humaine, une focale de 50 mm correspond à ce qu'on appelle un "objectif standard". Quand le capteur est plus petit, la focale d'un objectif "normal" est inférieure à 50 mm.

8.5 Modifier l'exposition

Gérer l'exposition d'une photographie, c'est régler les différents paramètres permettant de contrôler la quantité de lumière impressionnant les capteurs (ou la pellicule pour les appareils argentiques). Pour cela, il existe différentes possibilités. On peut modifier le temps de pose, le nombre d'ouverture et la sensibilité des capteurs. Le réglage de l'exposition ne peut se faire qu'avec le mode manuel M. Lorsque l'on utilise le mode A ou S, on parle de mode

"semi-automatique", soit priorité diaphragme (mode A : le photographe règle le diaphragme et l'appareil calcule automatiquement le bon temps de pose) ou bien priorité vitesse (mode S : le photographe règle la vitesse d'obturateur donc le temps de pose et l'appareil calcule automatiquement le bon diaphragme). L'appareil choisit le couple correct diaphragme/vitesse donnant la meilleure exposition possible (ni sous-exposé, trop sombre, ni sur-exposé, trop clair). Néanmoins, en mode semi-automatique, le photographe pourra légèrement surexposer (par exemple un visage sur fond clair) ou sous-exposer (par exemple un visage sur fond sombre) grâce à la correction d'exposition +/- (cran par cran).

Le nombre d'ouverture N

En changeant le nombre d'ouverture, l'ouverture du diaphragme est modifiée. Attention à ne pas confondre nombre d'ouverture et ouverture. Le nombre d'ouverture est le paramètre affiché sur l'appareil photo alors que l'ouverture est la surface qui va laisser passer la lumière à travers l'objectif. Le nombre plus petit, 2.8, correspond à la plus grande ouverture du diaphragme (grande quantité de lumière entrant dans l'appareil photo). La photographie risque d'être sur-exposée.



FIGURE 29 – Nombre d'ouverture et ouverture

Le temps de pose

Le second paramètre permettant de changer l'exposition est le temps de pose. Le temps de pose est le temps pendant lequel l'obturateur reste ouvert. L'inverse du temps de pose est la vitesse de l'obturateur. Par exemple, si la vitesse est 1000, la lumière peut rentrer dans l'appareil pendant 1/1000 ème de seconde soit 0,001 s soit 1 ms (milliseconde). Plus la vitesse est grande, plus le temps de pose est petit et plus la vitesse est petite, plus le temps de pose est grand.

1000	500	250	125	60	30	15	8	4
1/1000 s	1/500 s	1/250 s	1/125 s	1/60s	1/30 s	1/15 s	1/8 s	1/4 s
1 ms	2 ms	4 ms	8 ms	16 ms	33 ms	64 ms	125 ms	250 ms
---								+++

de 125 à 60: lumière multipliée par 2, flou possible.

En passant d'un temps de pose de 1/125 s à 1/60s le temps de pose est multiplié par 2, la quantité de lumière qui pénètre dans l'appareil photo est alors multipliée par 2.

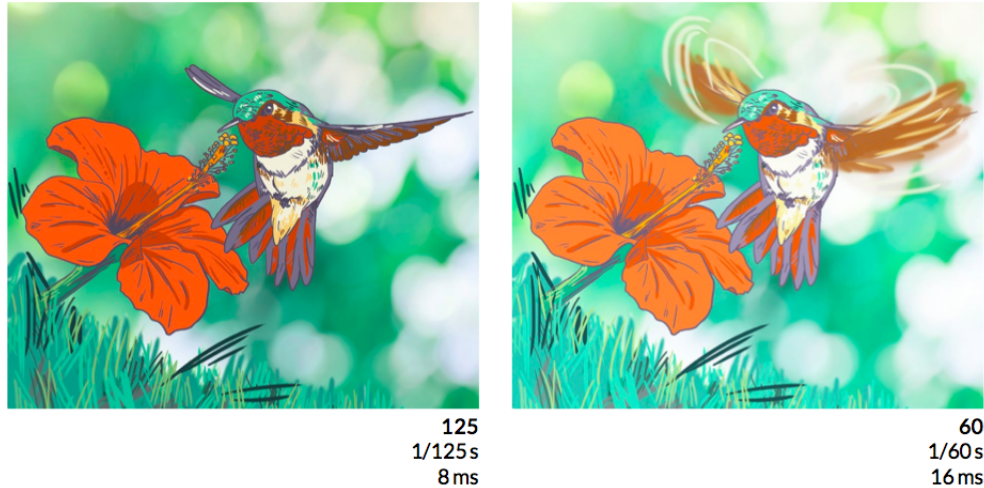


FIGURE 30 – Nombre d'ouverture et ouverture

La sensibilité ISO

Pour régler l'amplification du signal électrique, le photographe peut modifier la sensibilité ISO (si les conditions le permettent, il ne faut pas augmenter la sensibilité ISO car l'image numérique se détériore à cause du bruit numérique : informations parasites donnant une couleur incorrecte à certains pixels). Quand on passe de 400 ISO à 800 ISO les capteurs sont 2 fois plus sensibles à la lumière. Pour obtenir la même exposition, il faut 2 fois moins de lumière.

50	100	200	400	800	1600	3200	6400	12800
Peu sensible à la lumière								Très sensible

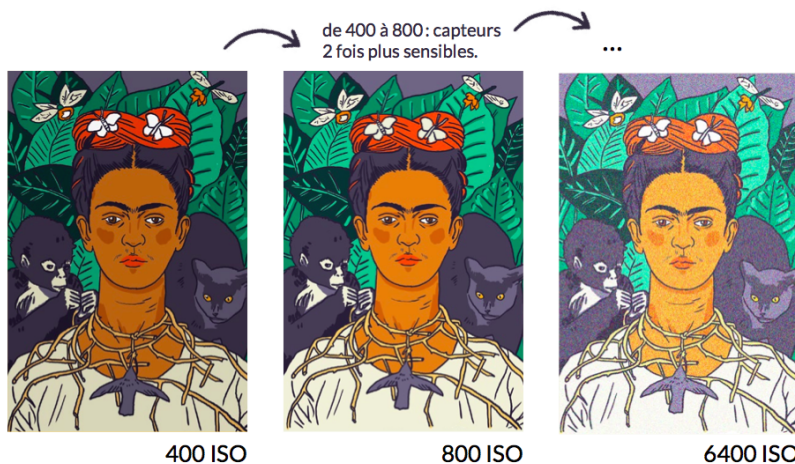


FIGURE 31 – Influence de la sensibilité en ISO sur l'image obtenue

8.6 L'esthétique de l'image

Profondeur de champ

La profondeur de champ correspond à la zone de netteté de l'image : c'est la distance séparant le premier plan net du dernier plan net de cette photo. En général, elle se répartit 1/3 devant et 2/3 derrière le plan de mise au point. Pour modifier la profondeur de champ sans tenir compte de l'exposition, il est possible d'utiliser le mode A (semi-automatique, priorité diaphragme).

Il y a trois paramètres qui l'influencent :

- le nombre d'ouverture N : plus le nombre d'ouverture augmente, plus la profondeur de champ augmente.
- la focale f : plus la focale augmente, plus la profondeur de champ diminue.
- la distance de mise au point : c'est la distance séparant le photographe du sujet le plus net sur la photographie. Plus la distance entre le sujet et le photographe augmente, plus la profondeur de champ augmente.

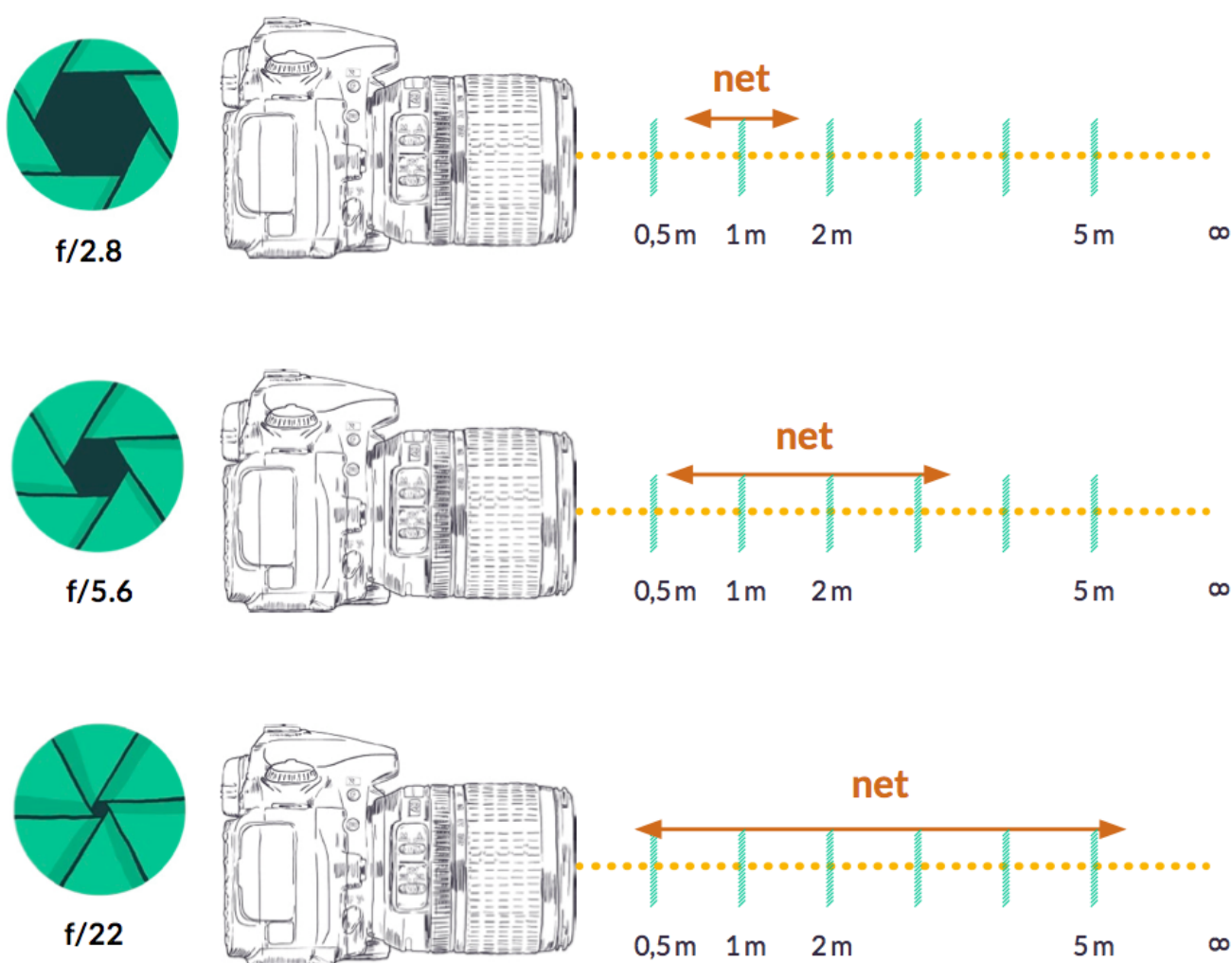


FIGURE 32 – Profondeur de champ

Contrôle du mouvement

Pour contrôler le mouvement d'un objet sans tenir compte de l'exposition, il est possible d'utiliser le mode S (semi-automatique priorité vitesse). On règle le temps de pose permettant de figer le mouvement (grande vitesse) ou au contraire de le rendre flou pour mieux l'appréhender (petite vitesse). En mode manuel M, le photographe peut utiliser le couple vitesse, diaphragme qu'il veut, au risque d'être sous-exposé ou sur-exposé mais en toute liberté pour des raisons artistiques.

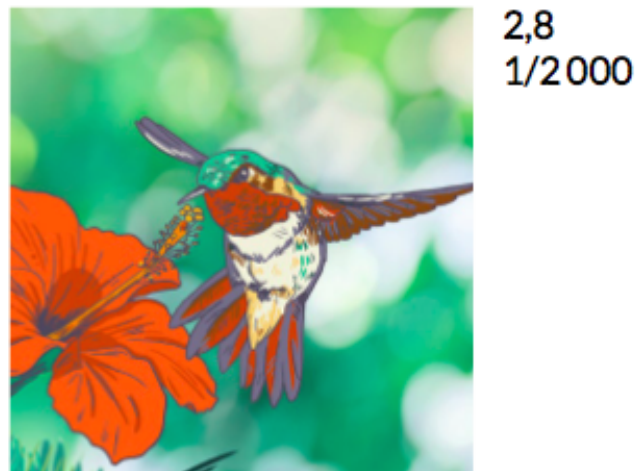
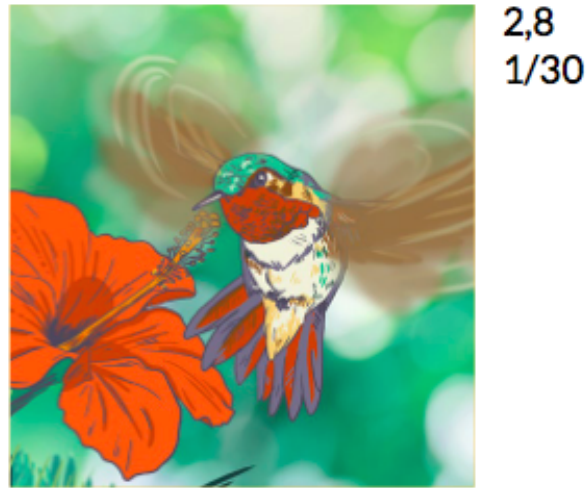


FIGURE 33 – Une petite vitesse permet de flouter les ailes pour mettre le battement en évidence, inversement, une grande vitesse gèle le mouvement et l'image obtenue est tout à fait différente

Balance des blancs

La couleur d'un objet photographié dépend de la source lumineuse qui l'éclaire. Lors d'une prise de vue les couleurs du sujet peuvent être différentes des couleurs perçues par le photographe. L'appareil photo doit tenir compte de cette source lumineuse. C'est à lui de décider d'attribuer à l'image la température de couleur se rapprochant le plus possible de la réalité, en compensant les différentes dominantes colorées. C'est la lumière ambiante et sa mesure par l'appareil qui permet de déterminer la balance des blancs. Avec un appareil photo, on peut modifier la température de couleur permettant de choisir précisément les couleurs dominantes.

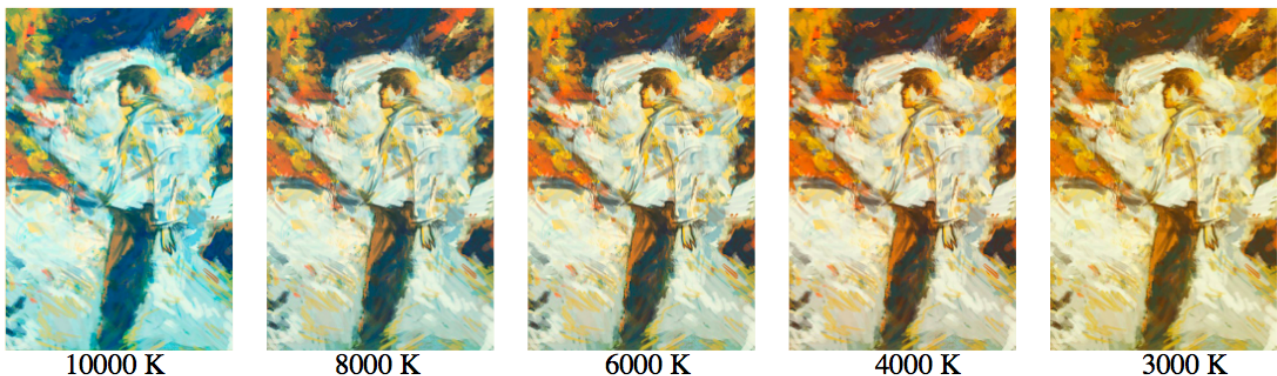


FIGURE 34 – Les différentes températures de couleurs reliées aux constantes de la physique (loi de Wien, couleur émises par les étoiles à différentes températures de surface

9 L'image numérique

9.1 Signal analogique et signal numérique

Le son et la lumière sont des phénomènes continus. Pour les diffuser, il est nécessaire de les enregistrer sur un support. Il y a alors deux solutions : soit on enregistre le signal de façon continue, on parle alors de *signal analogique* ; soit on n'enregistre que certaines valeurs de ce signal, il s'agit d'un *signal numérique*.

Un signal numérique ne peut prendre qu'un certain nombre de valeurs. On parle de *fréquence d'échantillonnage* (découpage en tranches de saucisson dans le temps en abscisse sur le graphe avec un certain nombre de tranches par seconde en hertz suffisamment grand) sur un *certain nombre de niveaux* suffisamment grand (découpage en tranches de saucisson de l'intensité du signal en ordonnée sur le graphe). Pour le son (CD) c'est 44100 échantillons par seconde (44100 Hz) sur 16 bits soit $2^{16} = 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 = 65536$ niveaux différents. Le signal sera donc *moins riche* qu'un signal analogique. Un signal numérique n'est pas identique au signal à enregistrer mais il a d'autres avantages. Les enregistrements numériques sont *très faciles à dupliquer* et peuvent être communiqués par ondes électromagnétiques (wifi, téléphone portable : ondes radio, bluetooth : infra-rouge) en *limitant les pertes d'information*, contrairement aux enregistrements analogiques.

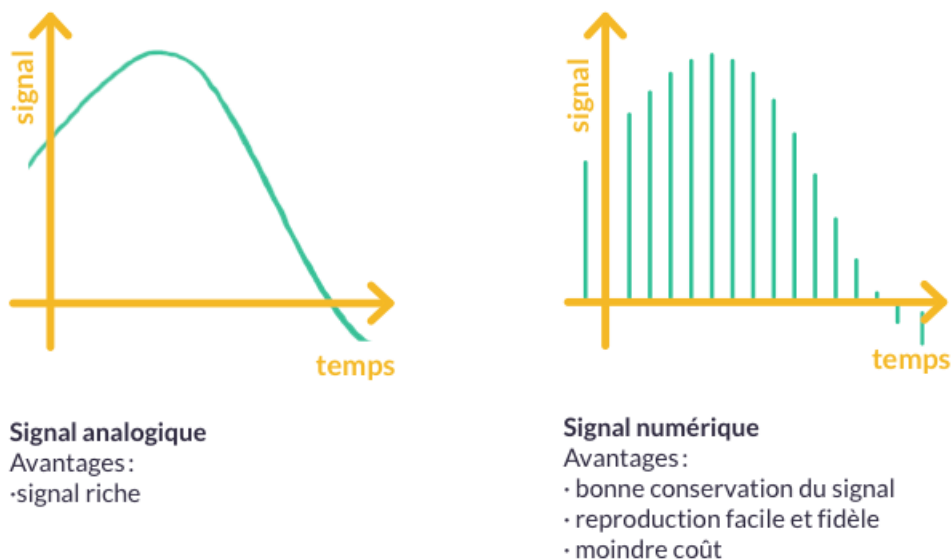


FIGURE 35 – Signal analogique et signal numérique

9.2 Image matricielle

Une image numérique est constituée d'un ensemble de points appelés pixels (picture element en anglais), chacun codé par un ensemble de 0 et 1. En numérique, tout est binaire. Il n'y a que deux états : 0 (interrupteur ouvert, transistor bloqué) et 1 (interrupteur fermé : transistor passant). Tout est codé en base 2 avec des 0 et des 1. Par exemple :

$$\begin{aligned} - 11111111 &= 255 = 2^8 - 1 = 1 * 2^7 + 1 * 2^6 + 1 * 2^5 + 1 * 2^4 + 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 \\ &= 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255 \text{ et } 2^8 = 256 \end{aligned}$$

$$- 00000000 = 0$$

$$- 00001111 = 0 * 2^7 + 0 * 2^6 + 0 * 2^5 + 0 * 2^4 + 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 8 + 4 + 2 + 1 = 15$$

La définition

La *définition* est le nombre de pixels qui constituent une image. Une définition de 1024 x 768 points comporte 1024 lignes de 768 points chacune, soit un total de 786432 pixels.

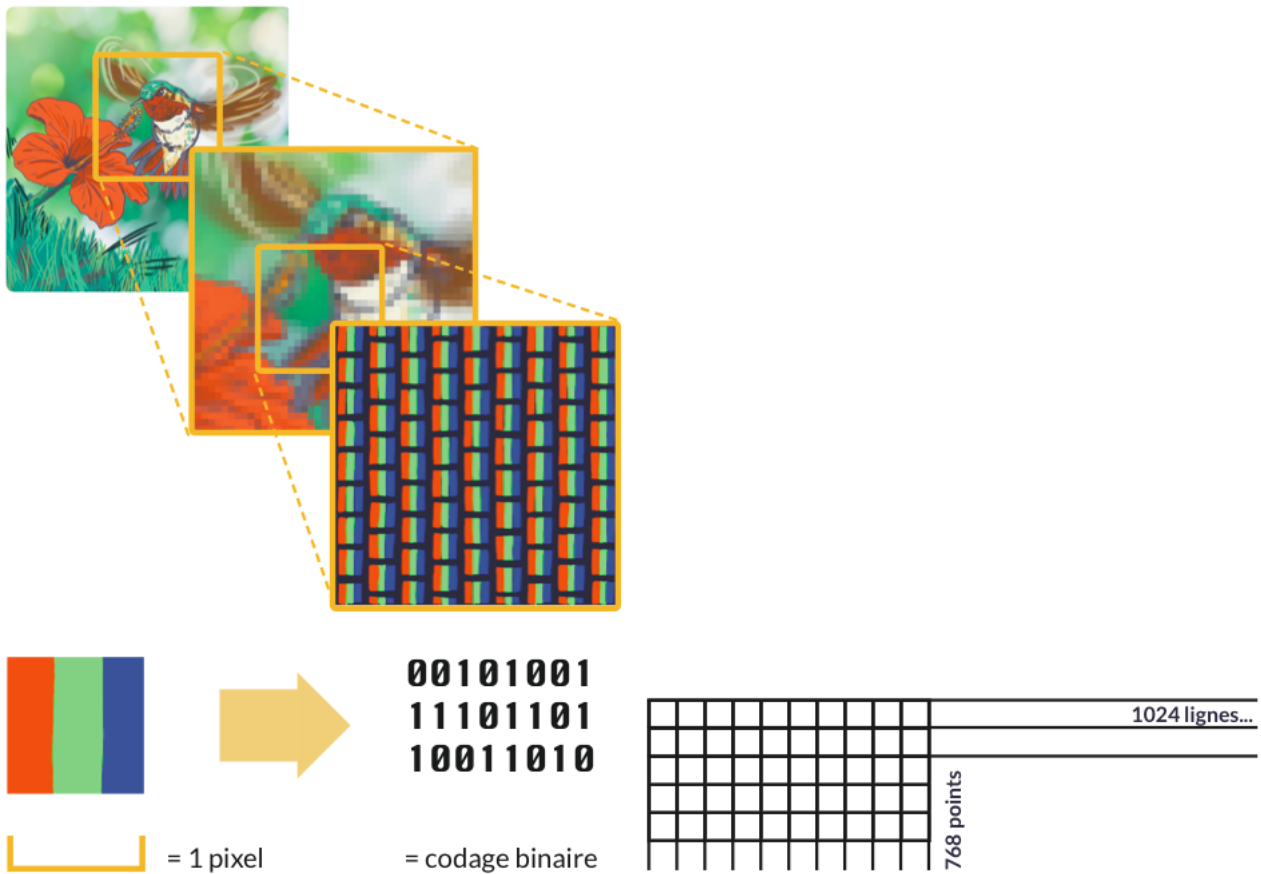


FIGURE 36 – L'image est découpée en pixels. Un pixel (px) est fait de 3 couleurs (RVB). Chaque couleur est codée sur 8 bits (un octet). Un pixel est codé sur 3 octets. Le nombre de pixels à coder est égal à la définition de l'image (1024x768=786432 px). Il faudra 786432x3=7077888 o soit environ 7 mégaoctets (1 Mo = 10⁶ o) pour stocker notre image à l'aide de 0 et de 1

La résolution

La résolution d'une image est définie par un *nombre de pixels par unité de longueur*. La qualité d'une image va dépendre de la résolution. la résolution détermine la taille du pixel restitué par notre écran ou par notre imprimante.

La résolution d'une image peut s'exprimer :

- en dpi : (dot per inch) c'est le nombre de points d'impression sur 1 pouce soit 2,54 cm. C'est l'unité adaptée pour l'impression d'une image (CMJN)
- ppp : (pixel par pouce) il s'agit du nombre de pixels affiché sur 1 pouce d'écran soit 2,54 cm. C'est l'unité adaptée pour l'affichage d'une image sur un écran (RVB).

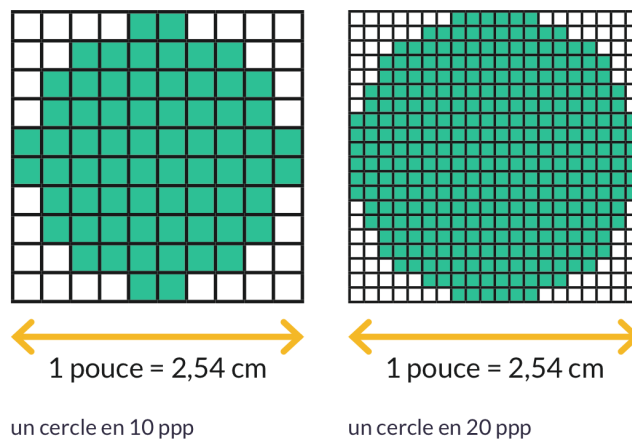


FIGURE 37 – Définition

Cas de l'impression CMJN : imprimante

Pour avoir un bon résultat en impression, il ne faut pas pouvoir discerner les points d'impression. Pour cela, on rapproche les points. L'œil n'est alors pas capable de distinguer deux points côte à côte. En imprimerie, les graphistes impriment les documents à *300 dpi*.

Cas de l'impression RVB : écran, scanner

Il est nécessaire de trouver un compromis entre le poids du fichier dépendant de la résolution. Les webdesigners optimisent leurs images et diminuent la résolution par rapport à une impression. Pour que l'œil ne puisse pas séparer les pixels, ils choisissent une résolution de *72 ppp* ou *92 ppp*.



FIGURE 38 – Une bonne résolution à l'écran peut être insuffisante à l'impression

9.3 Codage des couleurs

Le codage de la couleur est réalisé sur trois octets, chaque octet représentant la valeur d'une composante couleur par un entier de 0 à 255. Ces trois valeurs codent généralement la couleur dans l'espace RVB. Le nombre de couleurs différentes pouvant être ainsi représenté est de $256 \times 256 \times 256$ possibilités soit près de 16 millions de couleurs. Comme la différence de nuance entre deux couleurs très proches mais différentes dans ce mode de représentation est quasiment imperceptible pour l'œil humain, on considère commodément que ce système permet une restitution exacte des couleurs, c'est pourquoi on parle de « couleurs vraies ».

R	V	B	Couleur
0	0	0	noir
0	0	1	nuance de noir
255	0	0	rouge
0	255	0	vert
0	0	255	bleu
128	128	128	gris
255	255	255	blanc

000	008	016	024	032	040	048	056	064	072	080	088	096	104	112	120	128
255	248	240	232	224	216	208	200	192	184	176	168	160	152	144	136	

FIGURE 39 – Codage des couleurs sur 3 octets et codage des gris sur un octet seulement

9.4 Image numérique en couleurs

Une image numérique matricielle couleur peut être obtenue de deux manières différentes soit à l'aide d'un appareil photo numérique (APN) soit à l'aide d'un scanner. Dans ces deux cas, la lumière est transformée en signaux électriques qui sont alors stockés sous forme de nombres binaires, 0 ou 1.

Sur un capteur d'image numérique, chaque élément sensible à la lumière est pourvu d'un filtre *rouge, vert ou bleu*. Une image couleur peut alors être reconstituée à partir de ces 3 couleurs dites primaires en synthèse additive de la couleur « lumière ». Il y a environ 2 fois plus de filtres verts par pixel que de filtres rouges et bleus, pour compenser la façon dont l'œil perçoit les couleurs. Cet arrangement de couleurs est connu sous le nom de matrice de filtres de Bayer.



FIGURE 40 – Matrice de Bayer

La lumière est transformée en signal électrique puis en données binaires. Chaque couleur primaire est enregistrée sur 8 bits soit $3 \times 8 = 24$ bits par couleurs (3 octets).

Une séquence de 8 bits permet de coder 256 valeurs vertes différentes. Par conséquent, la valeur de la composante verte d'un pixel peut être représentée selon 256 niveaux différents allant de 0 à 255 (vert d'intensité maximale). C'est pourquoi, sur un logiciel de traitement d'image, on peut choisir un trio RVB compris entre 0 et 255, soit 256 valeurs différentes. Il en est de même pour les 2 autres composantes primaires, le rouge et le bleu.

Poids de l'image, profondeur de codage

Chaque couleur de chaque pixel (de couleur uniforme) constituant l'image est enregistrée sur 24 bits (3 octets). Si on connaît la définition (nombre de pixels constituant l'image), il est possible de retrouver le poids du fichier grâce à la formule :

$$Poids(Mo) = def(Mpx) \cdot profondeur\ de\ codage(o)$$

9.5 Format de l'image

Le format *standard* d'une image est le *JPEG* : c'est un format d'image compressé, c'est à dire que l'on a supprimé des informations du fichier acquis avec l'appareil photo. Pour obtenir un fichier JPEG, l'appareil photo réalise différents traitements : dématricage, balance des blancs, courbe de contraste, lissage, redressement géométrique, correction gamma, saturation... Ces traitements informatiques diminuent la qualité du fichier.

Afin d'obtenir un fichier contenant le *maximum* d'informations et n'ayant pas subi de modifications, il faut choisir le *format RAW*. Il permet aux photographes et aux graphistes de modifier, à l'aide d'un logiciel de retouche d'image comme Photoshop ou Gimp, sa prise de vue. Néanmoins, ce fichier *ne peut pas être lu* par tous les logiciels ou les navigateurs internet.

La dernière étape consiste à enregistrer l'image en JPEG. Dans les fichiers RAW, l'information sur la luminosité est codée sur *10 ou 12 bits* au lieu des 8 bits pour le JPEG (et généralement aussi du TIFF). Les données enregistrées sont alors plus nombreuses = *4096 valeurs* différentes (pour le RAW 12 bits puisque $2^{12} = 4096$ au lieu de $2^8 = 256$ par couleur primaire. Lors du traitement numérique, certaines couleurs « disparaissent ».