

Cours d'optique

O14 – Quelques instruments

Table des matières

1	Introduction	2
2	L'œil	2
2.1	L'organe et son modèle réduit	2
2.2	Caractéristiques	2
2.2.1	Pouvoir de résolution	2
2.2.2	Vision à l'infini, vision de près	3
2.3	Défauts de l'œil	3
3	La loupe	3
4	Lunette de Galilée et lunette astronomique	5
5	L'appareil photo réflex	6
5.1	Description	6
5.2	Champ d'un appareil photo	6
5.2.1	Influence de la focale de l'objectif	7
5.2.2	Influence de la taille du capteur	7
5.2.3	Focale réelle et équivalente	8
5.3	La mise au point	8
5.4	La profondeur de champ	9
5.4.1	Profondeur de champ et ouverture	9
5.4.2	Profondeur de champ et distance de mise au point	10
5.4.3	Profondeur de champ et focale	11
5.4.4	Attention aux réglages	12
6	Références	12

1 Introduction

L’idée de ce cours est de présenter quelques instruments d’optiques classiques : on commence par parler de l’œil puis de la loupe avant d’expliquer le principe d’instruments plus complexe comme la lunette astronomique. Enfin, nous aborderons quelques notions d’optique en relation avec l’appareil photographique (qu’il soit numérique ou argentique).

2 L’œil

L’œil est l’organe de la vision qui peut être facilement modélisé au laboratoire par un ensemble diaphragme-lentille convergente-écran. Ainsi nos connaissances sur les lentilles minces nous permettent de comprendre le fonctionnement de l’œil, lorsqu’il est normal ou non.

2.1 L’organe et son modèle réduit

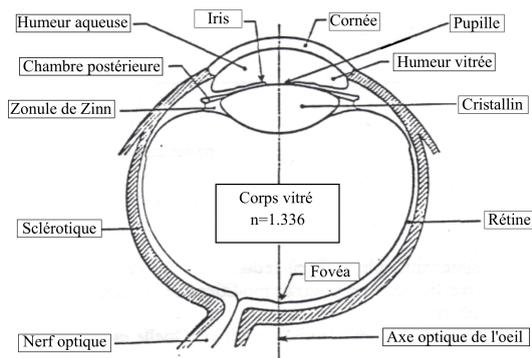


FIGURE 1 – L’organe de la vision

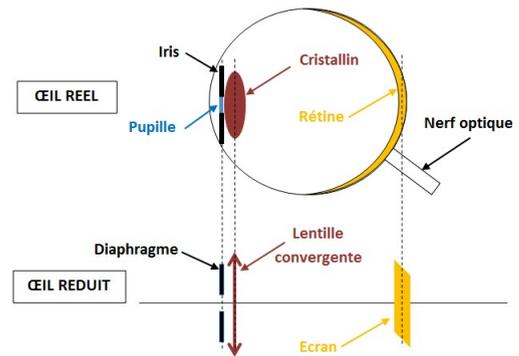


FIGURE 2 – Œil réel et œil réduit

- L’œil est composé d’un ensemble de milieux transparents, mais on considère que le cristallin a le rôle le plus important en ce qui concerne la réfraction des rayons lumineux. Dans la modélisation optique, on assimilera donc la lentille au cristallin
- Pour moduler la quantité de lumière qui pénètre dans l’œil, l’ensemble pupille/iris joue le rôle de diaphragme.
- La rétine est l’écran de l’œil, elle est tapissée de deux types de cellules :
 - Les cônes sont les cellules qui permettent la vision en couleur, de trois types différents, ils sont sensibles soit au rouge, soit au bleu soit au vert ;
 - Les bâtonnets permettent la vision dans des conditions de faible luminosité.
- Via le nerf optique, les informations reçues par les cellules de la rétine arrivent au cerveau et sont interprétées en terme d’image.

2.2 Caractéristiques

2.2.1 Pouvoir de résolution

L’œil ne peut distinguer deux détails d’un objet que si leur image se forme sur deux cellules différentes de la rétine.

Dans des conditions normales d’éclairciment et de contraste, le pouvoir de résolution de l’œil est d’environ $1'$ d’arc soit 3×10^{-4} rad (cela correspond à distinguer deux détails séparés de 1mm à une distance de 3m).

2.2.2 Vision à l’infini, vision de près

L’œil normal est appelé œil emmétrope. Nous étudions son cas ici.

- Pour obtenir une image nette, le cristallin fait converger les rayons lumineux reçus sur la rétine.
- Le point situé à la distance maximale qui permet la vision d’une image nette pour l’œil au repos est appelé Punctum Remotum (PR).
Pour l’œil normal, celui-ci est à l’infini.
- Pour voir des objets plus près, l’œil doit accommoder, c’est à dire courber son cristallin pour que celui-ci devienne plus convergent.
Il existe un point pour lequel l’œil est au maximum de sa convergence, qui correspond au point le plus proche dont on peut avoir une image nette : celui-ci est appelé Punctum Proximum (PP).
Pour un œil normal, le P.P est à 25 cm de celui-ci.

2.3 Défauts de l’œil

- Si l’œil est trop convergent, il est myope : son PR n’est plus situé à l’infini mais à quelques mètres. L’œil myope voit flou de loin, par contre ça vision de près est meilleure car le PP est plus proche. Pour corriger la myopie, on associe à l’œil une lentille divergente.
- Si l’œil est trop divergent, il est hypermétrope : cet œil est capable de voir à l’infini mais en accommodant. Le PP est plus éloigné de l’œil (il n’est pas assez convergent), la vision de près est moins aisée. Pour corriger ce défaut, on associe à l’œil une lentille convergente.
- La presbytie est un défaut qui vient avec l’âge de l’organe, le cristallin n’est plus assez souple pour se déformer à la demande. La vision de près qui demande au cristallin de devenir plus convergent est altérée.
- L’astigmatisme provient de la forme de l’œil qui n’est pas tout à fait sphérique, ce qui diminue la qualité de la vision que ce soit de près ou de loin.

3 La loupe

Le point le plus proche permettant une vision nette étant fixé (PP), pour mieux voir un objet, il faut utiliser un instrument : c’est ce que permet la loupe.

Pour obtenir l'effet Loupe, il faut que l'objet soit situé entre le centre optique d'une lentille convergente et son foyer objet : on obtient alors une image virtuelle, droite et agrandie.

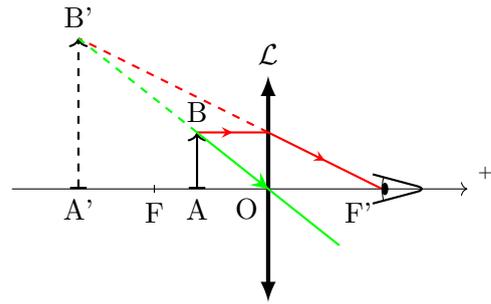


FIGURE 3 – Loupe avec accommodation

De plus, afin que l'œil puisse observer cette image sans accommodation, celle-ci doit être à l'infini.

La meilleure position de l'objet est celle où il sera sur le foyer principal objet.

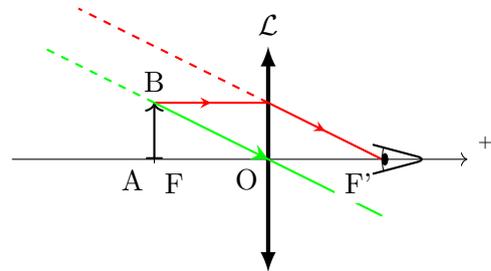


FIGURE 4 – Loupe sans accommodation

L'image obtenue avec une loupe peut-elle être plus ou moins grande ? La distance objet-lentille joue-t-elle sur la taille de l'image observée ?

La réponse est non :

- Si on approche l'objet de la lentille, l'image devient moins grande (voir figure 5), mais elle est vue plus près ;
- Si on éloigne l'objet de la lentille (en gardant $|\overline{OA}| < |\overline{OF}|$, l'image devient plus grande (voir figure 5), mais elle est vue plus loin !

L'angle θ' défini sur cette figure est le même quel que soit le cas, il ne dépend que de la lentille.

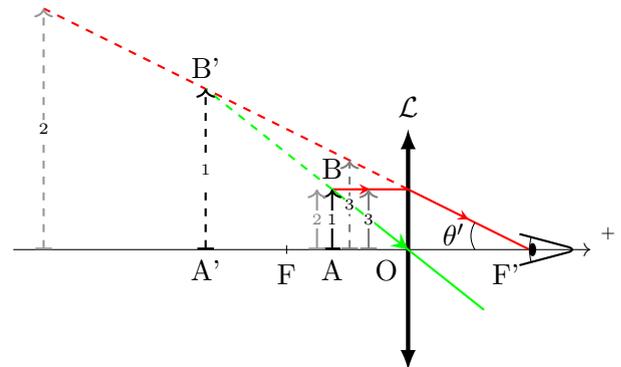


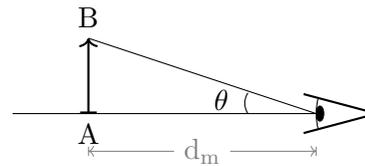
FIGURE 5 – Image obtenue avec une loupe dans plusieurs cas de distance objet-lentille

On définit alors le grossissement d'une loupe par le rapport entre :

- L'angle θ' sous lequel est vu l'image ;
- L'angle θ sous lequel est vu l'objet depuis l'œil à la distance de vision minimale de l'œil emmétrype soit $d_m = 25$ cm.

On a donc :

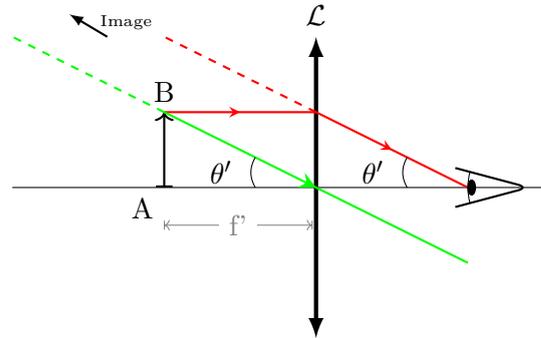
$$G = \frac{\theta'}{\theta} \quad (1)$$

FIGURE 6 – Définition de θ

Or si on note h la hauteur de l'objet, f' la focale de la lentille convergente, on peut écrire dans le cas des petits angles :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{h}{f'}}{\frac{h}{d_m}} = \frac{d_m}{f'} \quad (2)$$

Pour avoir un fort grossissement, il faut prendre une lentille de courte focale (de grande vergence).

FIGURE 7 – Définition de θ'

4 Lunette de Galilée et lunette astronomique

LUNETTE DE GALILÉE

La lunette de Galilée est un instrument composé d'un objectif convergent associé à un oculaire divergent. Elle est pensée de façon à ce que le foyer image de l'objectif soit confondu avec le foyer objet de l'oculaire divergent.

Un rayon lumineux issu d'un point B d'un astre objet fait un angle α avec l'axe optique de la lunette. Une image intermédiaire A_1B_1 est créée dans le plan focal image de l'objectif, qui est aussi le plan focal objet de l'oculaire.

Cette image intermédiaire devient objet pour l'oculaire et donne naissance à l'image définitive située à l'infini. On note α' l'angle que fait le rayon qui se dirige vers B' avec l'axe optique de la lunette.

1. Réaliser une construction optique de cet instrument : faire apparaître les angles, les foyers et l'image intermédiaire. On tracera des rayons passant par le centre optique des lentilles.
2. En déduire le principal avantage de la lunette de Galilée.
3. L'objet AB observé est la lune (α est donc l'angle sous lequel on voit le diamètre lunaire avec la lunette). Calculer la taille de l'image intermédiaire sachant que le diamètre de la lune est $d = 3480$ km et que sa distance à la terre est de 386000 km.
4. En déduire l'angle α' sous lequel on peut voir l'image finale de la lune à travers la lunette.
5. Calculer alors le grossissement de cette lunette et le comparer au rapport des focales $\left| \frac{f'_1}{f'_2} \right|$ (on donne $f'_1 = 2$ m et $f'_2 = -5$ cm).

LUNETTE ASTRONOMIQUE

La seule différence, mais pas des moindres, entre la lunette de Galilée et la lunette astronomique réside dans la nature de l'oculaire. Pour une lunette astronomique, l'oculaire est

convergent.

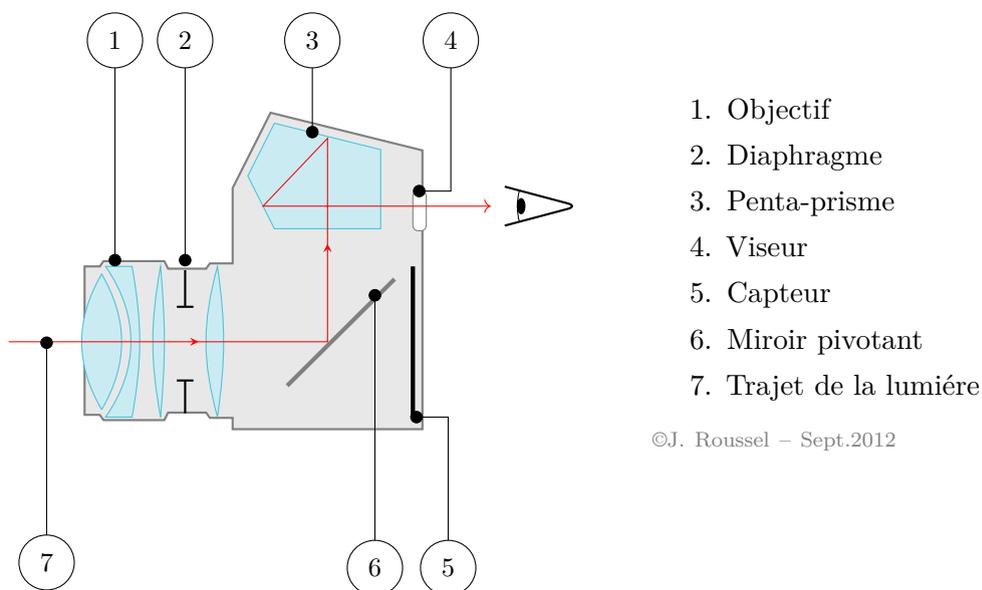
On réalise une lunette astronomique avec un objectif de distance focale $f'_1 = 2\text{ m}$ et un oculaire de distance focale $f'_2 = 5\text{ cm}$.

1. Réaliser la construction géométrique montrant ce que deviennent deux rayons parallèles inclinés d'un angle α par rapport à l'axe optique de l'appareil. Indiquer la position des angles orientés α et α' définis de la même manière que pour la lunette de Galilée.
2. Exprimer puis calculer le grossissement de cette lunette astronomique. Qu'y a-t-il de remarquable par rapport à la lunette astronomique ? Conclusion ?
3. Citer une autre différence notable entre la lunette astronomique et la lunette de Galilée.

5 L'appareil photo réflex

5.1 Description

On appelle appareil photo réflex, un appareil qui utilise un seul objectif pour la visée et pour la prise de vue.



©J. Roussel – Sept.2012

FIGURE 8 – Description d'un appareil photo réflex

Pour se faire, l'appareil utilise un miroir plan incliné à 45° sur l'axe optique de l'objectif et un pentaprisme :

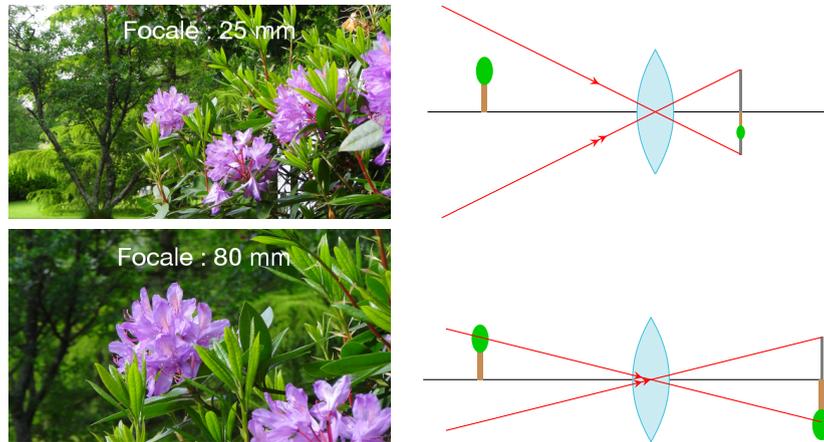
- Pour la visée, le miroir plan renvoie la lumière vers le pentaprisme qui la transmet à l'œil par l'intermédiaire du viseur ;
- Lorsque le photographe appuie sur le déclencheur, ce miroir plan pivote de façon à laisser passer la lumière vers le capteur.

5.2 Champ d'un appareil photo

Le champ d'un appareil photo est la portion d'espace qu'il peut photographier. Celui-ci dépend de la focale de l'objectif, mais aussi de la taille du capteur.

5.2.1 Influence de la focale de l'objectif

Voici des photos prises du même endroit avec un appareil muni d'un unique capteur mais avec des objectifs de focales différentes. A droite le schéma illustratif de la situation :

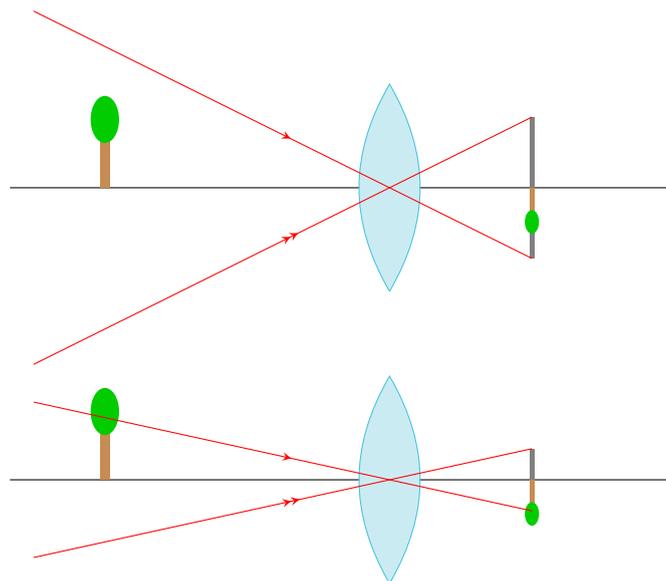


Donc plus la focale est grande, plus le champ est étroit, plus on capture un détail de l'image.

On dit que la première photo est prise avec un grand angle (focale courte, encombrement de l'appareil minimum), la deuxième est prise avec un téléobjectif (focale longue, encombrement important).

5.2.2 Influence de la taille du capteur

Voyons maintenant ce qu'il se passe si on garde une focale de 25 mm (première photo) mais que l'on diminue la taille du capteur. Sur des illustrations cela donne :



Ainsi, grand angle ne signifie pas forcément courte focale, car cela dépend de la taille du capteur.

5.2.3 Focale réelle et équivalente

Pour que tout le monde puisse identifier si un appareil sera un grand angle d'un téléobjectif, on a inventé la focale équivalente. C'est une focale calculée pour une seule taille de capteur (en l'occurrence un capteur 24×36).

Si cette focale équivalente est grande, on a un téléobjectif, si elle est petite, on a un grand angle. C'est généralement cette focale équivalente qui est annoncée sur les appareils compacts à objectifs fixes.

Pour les objectifs des reflex qui sont généralement interchangeables, on indique sur ceux-ci leur focale réelle. On connaîtra donc le champ couvert par l'appareil que si on associe cette valeur réelle à la taille du capteur.

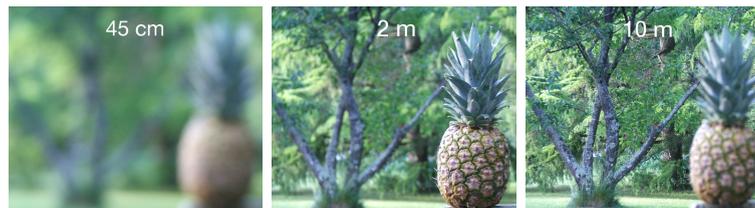
Les fabricants d'appareils donnent alors le facteur de conversion permettant de passer de la focale réelle de l'objectif à la focale équivalente de l'ensemble objectif-capteur.

Voici alors l'utilisation des appareils selon leur focale équivalente :

- Jusqu'à 40 mm : grand angle ;
- 40-60 mm : standard ;
- 60-120 mm : focale à portrait ;
- 60-300 mm : téléobjectif.

5.3 La mise au point

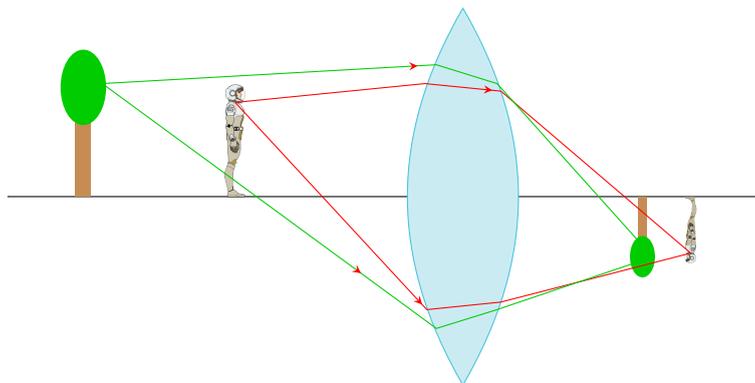
Voici trois photos prises dans les mêmes conditions (même appareil, même focale, même endroit de prise de vue) mais avec trois mises au point différentes :



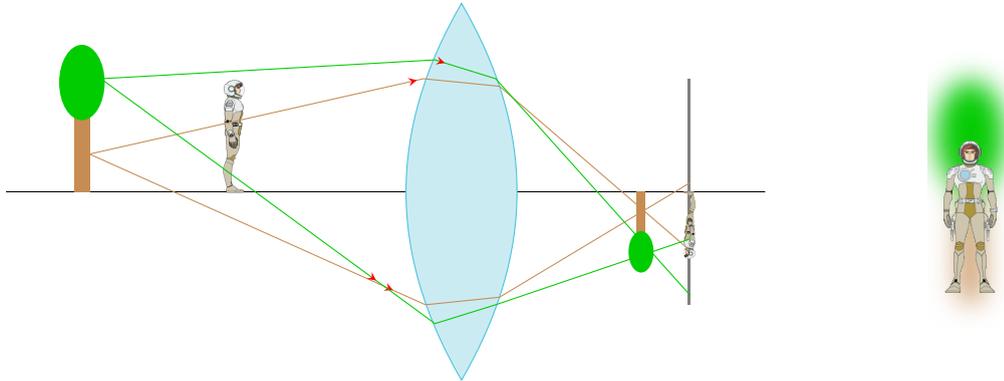
C'est elle qui détermine ce qui sera net sur la photo finale et ce qui ne le sera pas. On la règle donc de façon à choisir le sujet à photographier. Elle peut se régler automatiquement (souvent en appuyant à mi-course sur le déclencheur), ou bien manuellement via une bague qui tourne autour de l'objectif.

Sur cette bague, la mise au point est gradué en mètres : "je veux faire la mise au point à 5 m de l'appareil". Un objectif indique généralement les distances minimale et maximale de mise au point.

Prenons l'exemple d'une scène avec un homme situé devant un arbre :



Je dois choisir qui je veux photographier. Si je choisis l'homme, je dois placer mon capteur au niveau de l'image de l'homme, les points objets de l'arbre donneront des taches images, ce qui donnera un arrière plan composé d'un arbre flou :



Donc la bague de mise au point doit agir sur la position du capteur par rapport à l'objectif pour sélectionner l'image à "imprimer" (dans le cas de l'homme, je fais la mise au point sur un objet proche, je dois éloigner mon capteur de l'objectif).

Sur les appareils basiques, il y a vraiment déplacement, sur de plus perfectionnés, des lentilles de l'objectif se déplacent pour obtenir la mise au point voulue.

5.4 La profondeur de champ



Sur la première photo, nous voyons que le batracien est net, mais l'avant plan et l'arrière plan sont flous, la profondeur de champ est faible.

Sur la deuxième, les sabots comme la tête de l'animal sont nets alors qu'ils ne sont pas situés sur le même plan : la profondeur de champ est grande.

La profondeur de champ correspond à la zone de netteté en avant et en arrière du plan de mise au point : plus celle-ci est grande, plus la profondeur de champ est grande.

5.4.1 Profondeur de champ et ouverture

Celle-ci dépend de l'ouverture (diamètre d'entrée de l'objectif) que l'on règle à l'aide d'un diaphragme : plus l'ouverture est petite plus la profondeur de champ sera grande.

Mais attention, la taille de l'ouverture influe sur la quantité de lumière qui imprégnera le capteur.

Cette ouverture est indiquée en fonction de la focale de l'objectif : une ouverture de $\frac{f}{22}$ est plus petite qu'une ouverture de $\frac{f}{4}$.

Voici deux schémas qui montrent pourquoi la réduction de l'ouverture agrandit la profondeur de champ :

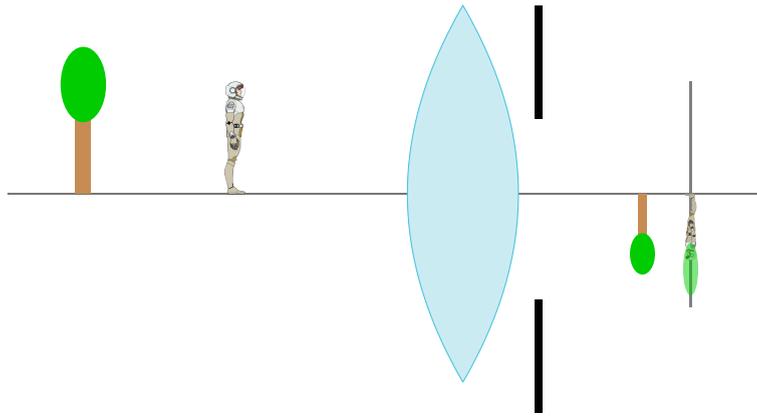


FIGURE 9

Avec un diaphragme ouvert, les feuilles des arbres créent une tache lumineuse assez large sur le capteur.

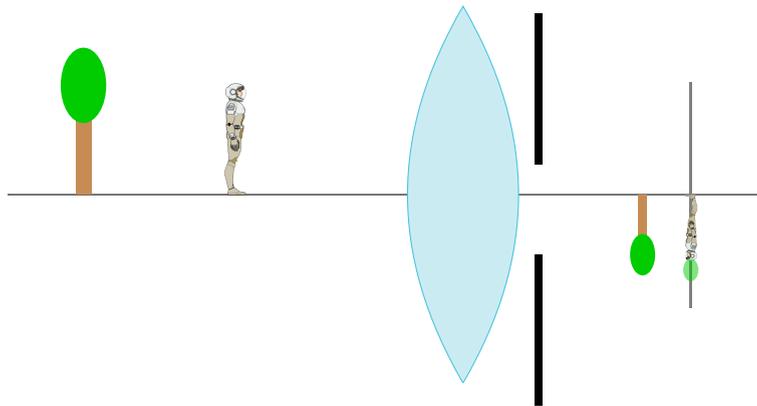


FIGURE 10

En réduisant l'ouverture, cette tache est plus petite. Si elle est inférieure à la taille d'un pixel du capteur (par exemple), les feuilles seront vues nettes. L'objet qui donnera une tache aussi grosse que les feuilles d'arbre du premier schéma sera plus loin en avant ou en arrière de l'homme, la zone de netteté sera plus importante.

5.4.2 Profondeur de champ et distance de mise au point

La profondeur de champ dépend aussi de la distance de mise au point : plus celle-ci est grande, plus la profondeur de champ est grande comme le montre le schéma suivant :

Plus la distance de mise au point est grande, plus la profondeur de champ est grande

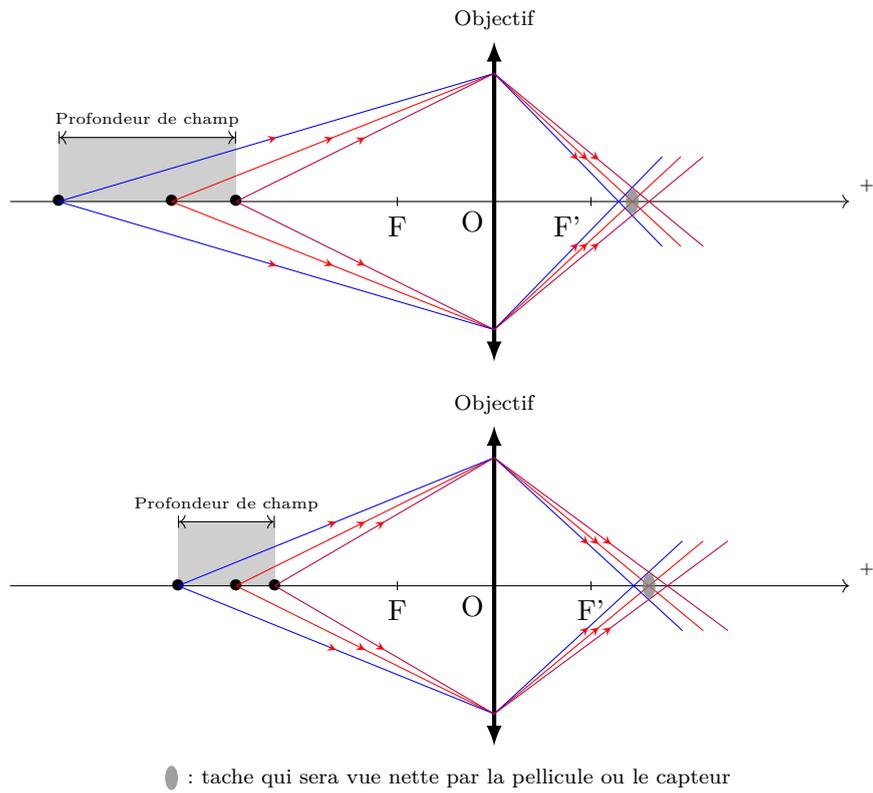


FIGURE 11

5.4.3 Profondeur de champ et focale

Enfin, la profondeur de champ dépend de la focale :

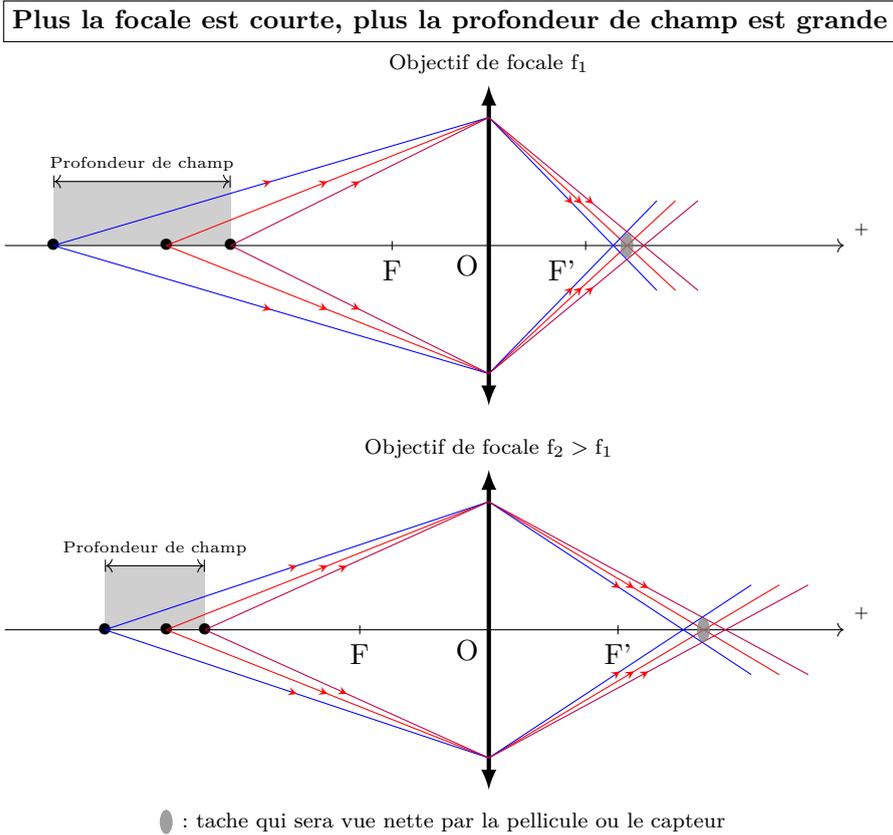


FIGURE 12

5.4.4 Attention aux réglages

Typiquement, on utilise une profondeur de champ faible, donc une grande ouverture pour effectuer des portraits, et une profondeur de champ importante lorsqu'il s'agit de photographier un paysage.

Mais en même temps que l'on règle celle-ci, il faut penser à régler le temps d'exposition du capteur (le temps pendant lequel le miroir plan du reflex pivotera), car la photo risquerait d'être sur-exposée (pour un portrait) ou sous-exposée (pour un paysage).

6 Références

— [Un dossier du site lesnumeriques.com](http://lesnumeriques.com)