

Bases d'optique

© 2003 The Imaging Source Europe GmbH

Tous droits réservés

<http://www.1394imaging.com/>

Version: octobre 2004

L'optique, pas de problème, ce ne sont que des connaissances acquises à l'école. Mais, sincèrement, êtes-vous capable de calculer la distance focale d'un objectif par rapport à quelconque mesure d'optique ? Si c'en est le cas, vous êtes exceptionnel et n'avez pas besoin de continuer à lire ce texte. Par contre, une deuxième chance est ici accordée à tous les autres.

Commençons par le commencement

"Un éclat de verre provoque un incendie de forêt", c'est un titre, entre autres, typique en été. Comment cela a-t-il pu se passer ? A cause de la grande distance, le soleil apparaît comme un petit point qui diffuse des rayons solaires parallèlement (fig. 1a). Si ces rayons parallèles traversent une lentille (ou un éclat de verre similaire à une lentille), ceux-ci convergent derrière la lentille en un foyer.

Mais que se passe-t-il si les rayons se trouvent près de la lentille et qu'ils ne la franchissent pas parallèlement ? Ils convergent derrière le foyer (fig. 1b). Si on observe la représentation du point à la hauteur du foyer, on voit une tache mate et flou.

Et voilà que se présente le problème de la "mise au point". Pour faire une bonne mise au point, on doit augmenter la distance entre le plan focal et la lentille, de telle sorte que le plan focal et le point de convergence des rayons soient superposés (fig. 1c).

Donc, pour un seul point lumineux, tout se présente assez simplement. Mais que se passe-t-il si on veut représenter quelconque vis, puce ou plaque d'acier ?

Du point lumineux à l'image

Jusqu'à maintenant, nous identifions le point lumineux à une source de lumière telle que le soleil. Effectivement, un point lumineux peut également provenir d'une réflexion. Représentons-nous la surface d'un objet réfléchissant comme un ensemble infini de points lumineux. Considérons donc les points de départ et d'arrivée de la flèche de la figure 1d et suivons les rayons de ces deux points. Derrière la lentille, ces rayons forment les points de départ et d'arrivée de la flèche représentée (mais à l'envers). Tous les points lumineux restant à la surface de la flèche (et il y en a à l'infini) se comportent de la même manière et ainsi, une image complète de la flèche se forme sur le plan de représentation.

De la lentille à l'objectif

Jouer avec le feu n'est sûrement pas l'utilisation principale d'une lentille. Dans le contexte de la technique de mesure optique, notre but est de représenter un objet sur un capteur d'image (par exemple, un capteur CCD). L'image générée (fig. 1d) est la base de différentes mesures, comme par exemple la grandeur, la position ou la nature de la surface.

Toutefois, on n'utilise pas une seule lentille pour cela, mais on combine les lentilles pour créer les objectifs. La qualité de représentation d'un objectif est meilleure que celle d'une seule lentille. Pour le travail de tous les jours, on peut heureusement considérer un objectif comme une lentille idéale.

Mais quel est désormais l'objectif approprié ? La propriété fondamentale d'un objectif est le rapport entre la dimension de l'image et celle de l'objet :

$$\text{Echelle de reproduction} = \frac{\text{Diamètre de l'image}}{\text{Diamètre de l'objet}}$$

Utilisons un exemple : Une vis d'une longueur de 5 cm reproduite à 5mm, l'échelle de reproduction est de 0,1. Si l'objet est par exemple très petit quand il est représenté à 0,5mm, et doit être agrandi de 5mm, alors l'échelle de reproduction est de 10.

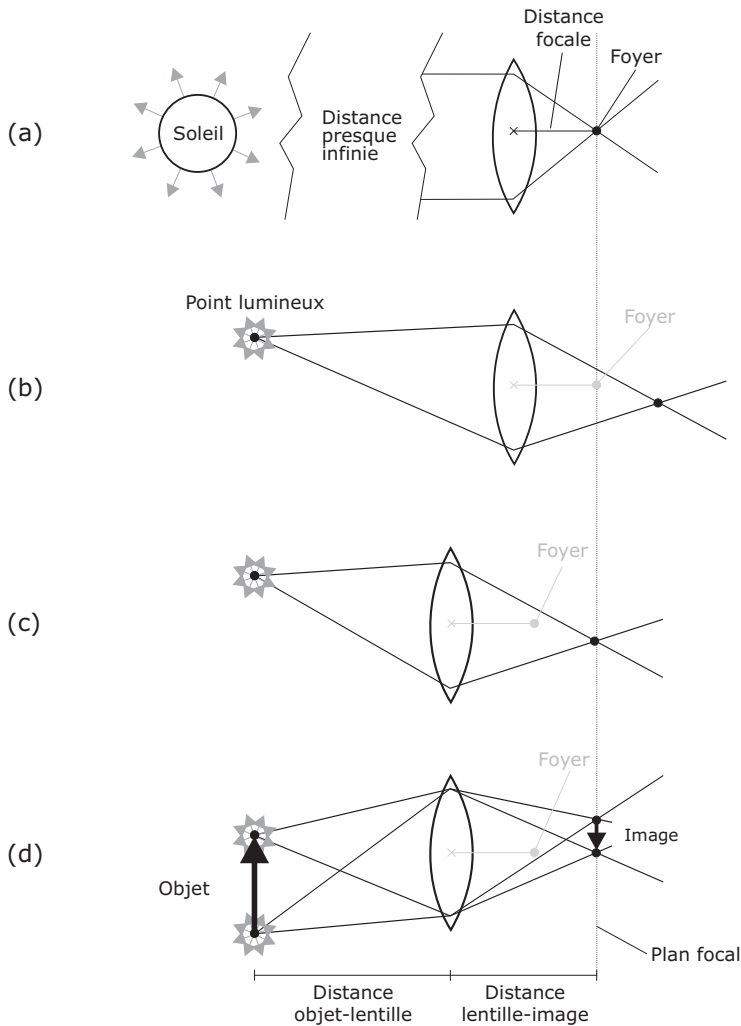


Fig. 1: Du point lumineux à l'image

En outre, comme le montre la figure 1d, l'échelle de reproduction dépend aussi de la distance objet-lentille. Plus l'objet est éloigné, plus son image est petite. Donc, la détermination de l'échelle de reproduction est seulement possible si on connaît la distance objet-lentille. Trop compliqué ? C'est normal, pour cela, nous avons besoin d'un paramètre qui décrit plus directement les objectifs. La solution est dans la vie de tous les jours et c'est la suivante :

$$\text{Distance focale} = \frac{\text{Distance objet - lentille} * \text{Grandeur de l'image}}{\text{Grandeur de l'objet} + \text{Grandeur de l'image}}$$

Les vacances et la technique de mesure optique ont-elles quelque chose en commun ?

A vrai dire, pas vraiment. Mais faire une photo de vacances et mesurer une pièce en acier se basent sur les mêmes lois optiques. Supposons que le capteur d'image ait les mêmes dimensions qu'un film petit format avec une hauteur de 24 mm et une largeur de 36 mm. Ensuite, nous voulons capter notre plage sur une largeur de 1000 m à une distance de 500 m. Cela donne une distance focale de :

$$\text{Distance focale} = \frac{500.000\text{mm} * 36\text{mm}}{1.000.000\text{mm} + 36\text{mm}} = 18\text{mm}$$

Si nous échangeons le film petit format avec un capteur CCD standard de dimension 4,8 * 6,4 mm, la distance focale est nettement plus courte :

$$\text{Distance focale} = \frac{500.000\text{mm} * 6,4\text{mm}}{1.000.000\text{mm} + 6,4\text{mm}} = 3,2\text{mm}$$

Pas de plage sans un mec à la « Alerte à Malibu ». Si nous voulons remplir un film petit format avec ce mec de 2m à une distance de 500 m, alors nous obtenons :

$$Distance\ focale = \frac{500.000mm * 24mm}{2.000mm + 24mm} = 5.929mm$$

Une distance focale de ce genre ne fait généralement pas partie d'un équipement photo normal. Nous devons tant bien que mal nous rapprocher de ce mec. Nous l'obtenons à une distance de 10 m avec une distance focale plus ou moins normale de presque 120 mm remplissant le format d'un film petit format.

Pour les amis des êtres vivants plus petits, au contraire, il y a souvent une distance trop grande et non trop courte qui nous amène à nous casser la tête. Si nous nous approchons d'un insecte à une hauteur de 10 mm et une distance de 30 cm, nous y arrivons sur un film petit format avec une distance focale de :

$$Distance\ focale = \frac{300mm * 24mm}{10mm + 24mm} = 212mm$$

Mais avez-vous déjà essayé de mettre au point un objectif de base 200 mm à une distance de 30 cm ? Dans vos rêves !

Le mystère des bagues allonges

On accorde trop de confiance à certains éléments techniques. à ceux-ci appartiennent les bagues allonges. Elles se vissent entre l'objectif et l'appareil-photo afin d'augmenter la distance entre le plan focal et la lentille (fig. 1d). En quoi sont-elles positives ? Plus un point lumineux est près d'une lentille, plus les rayons convergent loin derrière le foyer et plus la distance lentille-objet doit être grande afin de représenter le point lumineux nettement (fig. 1b et 1d). Concrètement, les objectifs existants réalisent la mise au point grâce à une commande par vis sans fin qui vous permet le déplacement de la lentille à l'intérieur du boîtier de l'objectif, effectuant ainsi la mise au point. Le déplacement de la lentille a naturellement des limites mécaniques. Une de ces limites détermine la distance lentille-image maximale et, par conséquent, la plus petite distance de l'objet aussi (MOD = minimal object distance). Si on désire s'approcher de l'objet convoité, on n'a qu'à augmenter la distance lentille-image grâce à la bague allonge.

Cet effet, en fait très simple, est accompagné étrangement de différents mystères, comme par exemple, une présumée augmentation ou diminution, selon le degré de naïveté, de la profondeur de champ. Balivernes ! Occupons-nous plutôt, dans la pratique, de détails essentiels comme, par exemple, de la question :

A quoi servent les objectifs monture C ?

Dans la nuit des temps, les films étaient tournés avec des caméras à tubes. Les diamètres externes de ces tubes étaient de 1/2", 2/3" ou de 1", les rectangles photosensibles sur le front des tubes étaient naturellement plus petits. La figure 2 montre les dimensions de ces rectangles qui sont aussi les bases pour les capteurs d'images CCD, dominants de nos jours.

La monture de l'objectif des caméras à tubes s'appelait "monture C" (C comme Cinéma). Il s'agit d'un filet grossier de 1" et il offre ainsi une base simple, compacte et robuste pour les objectifs interchangeables. La variante "monture CS" s'en distingue seulement lors du tirage (fig. 3).

Les différentes dimensions des tubes et des CCD se reflètent sur les différents formats des objectifs. Malheureusement..., car cela porte à croire que, par exemple, un CCD de 1/3" aurait besoin d'un objectif d'aussi 1/3".

Tout se concentre sur le cercle d'images

Des murs blancs sont peut-être ennuyeux mais ils peuvent toujours servir pour des petites expériences mentales. Imaginez que vous pointez un objectif vers un tel mur. Comment sera l'image ? Une tache ronde et claire qui est aussi ennuyeuse que le mur (le soi-disant cercle d'images). Dans le cas d'un objectif 1/3" par exemple, le cercle d'images est un peu plus grand que la diagonale d'un CCD 1/3". Donc, notre image recouvre complètement le CCD. Par contre, les angles d'un CCD 1/2" resteraient sombres. Résultat : Le format de l'objectif doit **aussi grand ou égal** à celui du CCD.

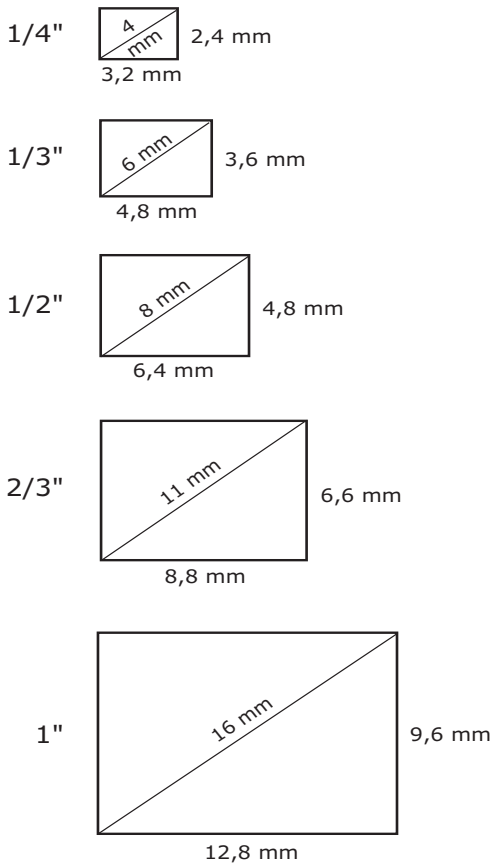


Fig. 2: Formats des CCD.

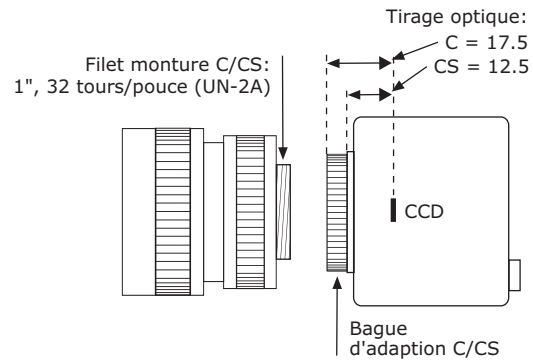


Fig. 3: La monture C.

Malheureusement, les objectifs ne sont pas parfaits. Leurs erreurs se voient principalement à la périphérie. C'est pour cela qu'il est bon de choisir un format d'objectif qui soit le plus grand possible. La deuxième possibilité est tout aussi simple. Si on ne laisse la lumière pas du tout traverser la surface extérieure de la lentille, on évite les erreurs à la périphérie. Pour cela, nous avons besoin d'un diaphragme.

Un regard profondément net

Les diaphragmes, ne réduisent pas seulement les erreurs des objectifs, mais ils influencent aussi la netteté. Mais que veut dire au fait "net" ? La figure 4a montre deux points lumineux A et B et deux images A' et B'. La distance lentille-image (fig. 1d) est réglée de telle manière que l'image A' rencontre exactement le CCD. C'est clair et "net" !

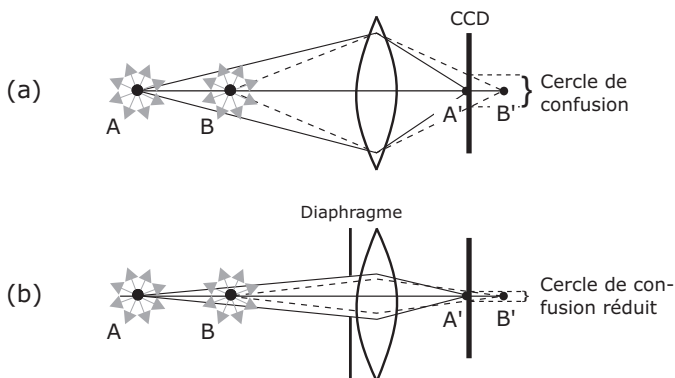


Fig. 4: Que signifie « net » ?

Le point B est plus proche de la lentille, donc l'image B' se trouve derrière A'. Donc, l'image de B sur le capteur est une tache floue. Les techniciens parlent dans ce cas de "cercle de confusion".

Pour conclure nettement, cela voudrait donc dire que ce n'est pas possible de faire une représentation nette d'un objet tridimensionnel. Seulement une surface de l'objet serait nette alors que celles qui se trouvent devant ou derrière seraient floues. Mais pourquoi n'en est-il pas ainsi dans la pratique ? Parce que nos yeux ne peuvent percevoir un petit cercle de confusion comme flou. C'est l'effet de la profondeur de champ. Dans le cas d'un film petit format, "petit cercle de confusion" signifie que ce même cercle ne doit pas mesurer plus que 1/30mm. Dans le cas d'un CCD, nous pouvons définir le cercle de confusion avec les dimensions d'un pixel. Les pixels d'un CCD moderne mesurent environ 5 * 5 µm.

Dans la pratique, il est rarement utile de calculer exactement la profondeur de champ. En fait, le thème de la "profondeur de champ", comme celui des bagues allonges, est un thème qui a plus à voir avec la foi qu'avec le savoir. Ça vaut donc le coup de regarder de plus près la "formule de la profondeur de champ" pour découvrir ce qui va avec quoi :

$$\text{Limite de profondeur de champ} = \frac{\text{Distance objet - lentille}}{1 \pm \text{Cercle de confusion} * \text{Diaphragme} * \frac{\text{Distance objet - lentille} - \text{Distance focale}}{\text{Distance focale}^2}}$$

Supposons que nous désirons, lors d'une opération de production, observer des écrous à l'aide de la caméra mégapixels DFK 31F03. Les écrous ont un diamètre de 10mm et la distance objet-lentille est de 100mm. Comme la DFK 31F03 utilise un CCD de 1/3" (cf. fig. 3), nous avons besoin d'une distance focale de :

$$\text{Distance focale} = \frac{100\text{mm} * 3,6\text{mm}}{10\text{mm} + 3,6\text{mm}} = 26,5\text{mm}$$

pour obtenir une représentation complète de l'écrou. Nous pouvons donc utiliser sans problème un objectif de 25mm que l'on peut trouver dans tout magasin de photo. Si on suppose un cercle de confusion de 5µm, nous pouvons voir net dans les endroits suivants :

$$\text{Limite antérieure de la profondeur de champ} = \frac{100\text{mm}}{1 + 0,005\text{mm} * 1,4 * \frac{100\text{mm} - 25\text{mm}}{25\text{mm}^2}} = 99,92\text{mm}$$

$$\text{Limite postérieure de la profondeur de champ} = \frac{100\text{mm}}{1 - 0,005\text{mm} * 1,4 * \frac{100\text{mm} - 25\text{mm}}{25\text{mm}^2}} = 100,08\text{mm}$$

Si nous voulons une plus grande profondeur de champ, seule la fermeture du diaphragme peut aider. Essayons avec un diaphragme de 4 :

$$\text{Limite antérieure de la profondeur de champ} = \frac{100\text{mm}}{1 + 0,005\text{mm} * 4 * \frac{100\text{mm} - 25\text{mm}}{25\text{mm}^2}} = 99,76\text{mm}$$

$$\text{Limite postérieure de la profondeur de champ} = \frac{100\text{mm}}{1 - 0,005\text{mm} * 4 * \frac{100\text{mm} - 25\text{mm}}{25\text{mm}^2}} = 100,24\text{mm}$$

Bien que le diaphragme ait été augmenté par 3 environ, le résultat n'est pas vraiment convaincant. La forte influence de la distance focale en est la cause. Si nous utilisons un objectif de 12 (c'est-à-dire, diviser la distance focale par 2), la question se présenterait sous de meilleures formes :

$$\text{Limite antérieure de la profondeur de champ} = \frac{100\text{mm}}{1 + 0,005\text{mm} * 4 * \frac{100\text{mm} - 12\text{mm}}{12\text{mm}^2}} = 98,79\text{mm}$$

$$\text{Limite postérieure de la profondeur de champ} = \frac{100\text{mm}}{1 - 0,005\text{mm} * 4 * \frac{100\text{mm} - 12\text{mm}}{12\text{mm}^2}} = 101,23\text{mm}$$

Toutefois, la représentation de l'écrou n'occuperait que la moitié du capteur CCD. Si ça ne suffit pas, il ne reste plus qu'à diminuer le diaphragme. Pour compenser, nous devons augmenter la luminosité et/ou prolonger le temps d'exposition.

En résumé, la profondeur de champ se base sur 3 paramètres :

Le cercle de confusion : Plus le cercle de confusion permis est petit, plus la profondeur de champ est petite.

Le diaphragme : Plus le diaphragme est petit (donc, plus le diaphragme est "ouvert"), plus la profondeur de champ est petite.

La distance focale : Plus la focale est grande (!), plus la profondeur de champ est petite. Cette relation est du deuxième degré. C'est-à-dire que rien qu'une petite augmentation de la distance focale mène à une réduction importante du champ de profondeur.

Comme déjà dit, il y a différents dogmes sur le thème de la profondeur de champ. L'hypothèse préférée est que les objectifs de formes spéciales (tels que, par exemple, les soi-disant objectifs télécentriques) auraient une "meilleure profondeur de champ". Mais, en tous cas, la profondeur de champ dépend des 3 paramètres : cercle de confusion, diaphragme et distance focale.

Il y aurait encore tant de choses à dire.

Par exemple sur l'angle de vue, les objectifs macros, les objectifs télécentriques, et surtout sur le fait surprenant que des images un peu flous amènent à des résultats de mesures plus exacts ! C'est pourquoi, nous continuerons à développer ce texte jour après jour et à vous informer par courrier électronique.