

La profondeur de champ

Depth of Field

Pascal Martin

Éditorialisation/content curation
Simone Beaudry-Pilotte

Traduction/translation
Timothy Barnard

Référence bibliographique/bibliographic reference
Martin, Pascal. *Passages du net au flou / Transitions from Sharp to Blurry Focus*. Montréal: CinéMédias, 2023, collection «Encyclopédie raisonnée des techniques du cinéma», sous la direction d'André Gaudreault, Laurent Le Forestier et Gilles Mouëllic.

Dépôt légal/legal deposit
Bibliothèque et Archives nationales du Québec,
Bibliothèque et Archives Canada/Library and Archives Canada, 2023
ISBN 978-2-925376-09-5 (PDF)

Appui financier du CRSH/SSHRC support
Ce projet s'appuie sur des recherches financées par le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada.

This project draws on research supported by the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada.

Mention de droits pour les textes/copyright for texts
© CinéMédias, 2023. Certains droits réservés/some rights reserved.
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International



Image d'accroche/header image
Capture d'écran de *Trois couleurs : Bleu* (Krzysztof Kieślowski, 1994). [Voir la fiche](#).

Screenshot from *Trois couleurs : Bleu* (Krzysztof Kieślowski, 1994). [See database entry](#).

Base de données TECHNÈS/TECHNÈS database
Une base de données documentaire recensant tous les contenus de l'*Encyclopédie* est en [libre accès](#). Des renvois vers la base sont également indiqués pour chaque image intégrée à ce livre.

A documentary database listing all the contents of the *Encyclopedia* is in [open access](#). References to the database are also provided for each image included in this book.

Version web/web version
Cet ouvrage a été initialement publié en 2022 sous la forme d'un [parcours thématique](#) de l'*Encyclopédie raisonnée des techniques du cinéma*.

This work was initially published in 2022 as a [thematic parcours](#) of the *Encyclopedia of Film Techniques and Technologies*.

La profondeur de champ

par Pascal Martin

Compréhension du principe de base

La profondeur de champ est un concept parfaitement corrélé à la mise au point. Elle supporte un ensemble de paradigmes dont le plus étonnant est d'exister par le défaut. Si tous les éléments qui concourent à la fabrication, à la restitution et à l'observation de l'image étaient exempts de défauts, le concept même serait inexistant, et la photographie de même que le cinéma n'auraient jamais été inventés, tout au moins sous leurs formes technologiques actuelles.

Sans recourir à une étude détaillée, l'ambition de ce propos est non seulement d'en résumer le principe, mais aussi d'introduire une forme de distanciation entre un modèle classique et une réalité analytique propre à une réflexion nourrie par l'expérience pratique et par plusieurs années de recherche. Le schéma suivant, obéissant à une construction axiale, servira de base au raisonnement dont les outils mathématiques sont empruntés à l'optique géométrique :

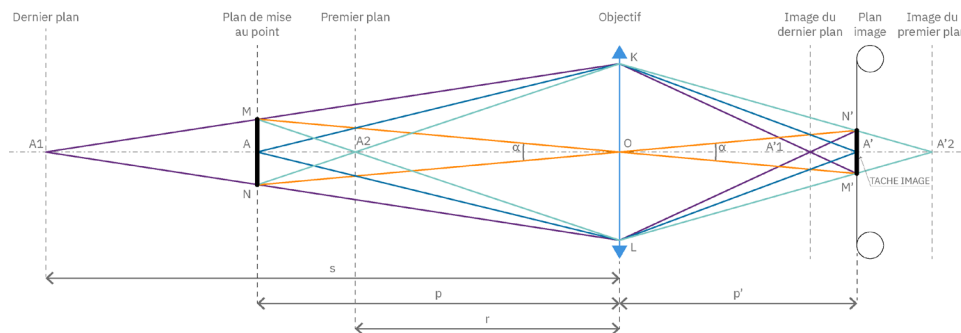
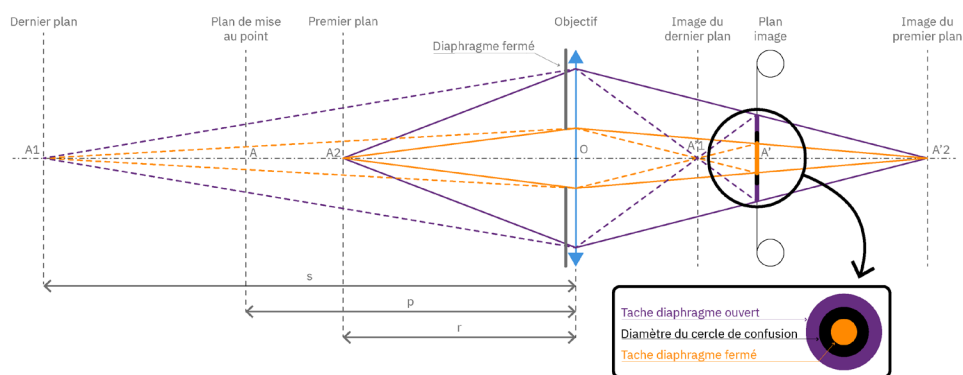


Schéma permettant d'illustrer le principe de la profondeur de champ. [Voir la fiche.](#)

La mise au point est réalisée sur l'objet ponctuel A situé sur l'axe optique de l'objectif. On assimile ce dernier à une lentille mince sans aberration. L'image de A, soit A', se forme sur le film, à l'intersection de celui-ci et de l'axe optique. Un objet ponctuel A₁, situé devant A (spatialement similaire), admet par conjugaison optique une image A'₁. Un objet ponctuel A₂, situé derrière A (spatialement similaire), admet par conjugaison optique une image A'₂. A'₁ et A'₂ se situent de part et d'autre de la surface sensible. Dans les deux cas, elle n'enregistre pas directement ces images mais leurs traces. Celle de A'₁ correspond à la partie postérieure du cône, alors que celle de A'₂ correspond à la partie antérieure. Ces traces sont des projections au sens de la géométrie euclidienne. Dans le cas présent, il s'agit de l'intersection d'un cône et d'un plan perpendiculaire à son axe de révolution, c'est-à-dire un cercle.

La notion de cercle de confusion est introduite à ce moment-là et conditionne à elle seule le concept même de profondeur de champ. Par définition, il s'agit de la grandeur maximale au-delà de laquelle l'œil cesse de confondre une tache avec un point. Passé ce seuil^[1], la tache deviendra de plus en plus visible, et les images cesseront d'être nettes.

À partir de ce raisonnement assez simple, il est donc facile de démontrer sans calcul l'incidence des trois paramètres de base influant directement sur la profondeur de champ. Il s'agit de l'ouverture, de la distance focale et de la distance de mise au point. Le schéma suivant sert de point de départ aux explications et met principalement en avant l'incidence du diaphragme.



Incidence de la fermeture du diaphragme sur la profondeur de champ. [Voir la fiche.](#)

Considérons sur le schéma deux couples de rayons issus des points A_1 et A_2 . Les premiers, en traits pointillés, correspondent à un diaphragme ouvert; les seconds, en traits pleins, à un diaphragme plus fermé. On admettra que la fermeture du diaphragme n'affecte pas les positions relatives de A'_1 , de A' et de A'_2 . La mise au point est faite sur A . Lorsque le diaphragme est ouvert, les cônes incidents provenant de A_1 et de A_2 sont plus larges, et leurs conjugués le sont également. Dans ce cas, la tache produite sur la surface sensible (matérialisée suivant un plan perpendiculaire à la figure par un cercle hachuré obliquement) est supérieure au cercle de confusion. En fermant le diaphragme, la base du cône diminuant, l'intersection avec le plan du film rétrécit également (donnant le cercle noir). La tache est inférieure au cercle de confusion, et A'_1 et A'_2 sont nettes. On comprendra aisément que plus le diaphragme est fermé, plus on pourra éloigner A_1 et A_2 par rapport à leur position respective afin de tendre vers une tache légèrement inférieure au cercle de confusion.

En ce qui concerne la distance focale, il est également possible, sans recourir à l'usage du calcul, de démontrer son incidence. En effet, plus la focale est longue, plus l'écart entre les segments A'_1A' et $A'A'_2$ (dans les hypothèses précédentes) est important. Pour un diamètre d'ouverture utile identique, les cônes admettront des intersections plus faibles avec le plan du film. Enfin, la mise au point implique le même principe de réflexion dans la mesure où plus les objets sont proches de l'objectif, plus leurs images en seront éloignées et leurs écarts relatifs, importants. Le lecteur profane en matière d'optique appliquée constatera que l'énoncé classique du phénomène géométrique caractérisant la profondeur de champ est assez simple. Il admettra également que la grandeur « cercle de confusion » est importante, puisqu'elle définit le passage du net au flou.

Une démonstration convenue

Dans les triangles MNA_1 et KLA_1 :

$$(1.0) \quad \frac{MN}{KL} = \frac{AA_1}{OA_1} = \frac{s-p}{s}$$

Dans les triangles MNA_2 et KLA_2 :

$$\frac{MN}{KL} = \frac{AA_2}{OA_2} = \frac{r-p}{r}$$

$$(1.1) \quad \text{donc} \quad \frac{MN}{KL} = \frac{s-p}{s} = \frac{r-p}{r}$$

KL représente le diamètre de l'ouverture utile, c'est-à-dire de la pupille d'entrée.

Dans le cas d'une lentille mince, les pupilles d'entrée et de sortie sont confondues.

Soit $KL = \emptyset P_E$

$$(1.2) \quad \text{puisque} \quad \frac{1}{N} = \frac{\emptyset P_E}{f'} \Rightarrow \emptyset P_E = \frac{f'}{N}$$

MN admet comme image $M'N'$, c'est-à-dire e (diamètre du cercle de confusion).

On admet généralement que :

$$(1.3) \quad MN = \alpha p$$

Et par conséquent que, en remplaçant (1.2) et (1.3) dans (1.1), on obtient :

$$(1.4) \quad \frac{MN}{KL} = \frac{s-p}{s} = \frac{r-p}{r}$$

$$\frac{\alpha p N}{f'} = \frac{s-p}{s} = \frac{r-p}{r}$$

$$\frac{\alpha N}{f'} = \frac{s-p}{s.p} = \frac{r-p}{r.p}$$

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{s} = \frac{1}{r} - \frac{1}{p} = \frac{\alpha N}{f'}$$

Avec $p = OA$, $s = OA_1$ et $r = OA_2$

$$(1.5) \quad \frac{\alpha N}{f'} = \frac{s-p}{s.p} = \frac{r-p}{r.p}$$

Si l'objet est à une distance supérieure à 20 fois la distance focale, on peut confondre p' et f' , ce qui permet d'écrire $e = f' \cdot \alpha$. Dans ce cas, l'équation globale devient :

$$(1.6) \quad \frac{1}{p} - \frac{1}{s} = \frac{1}{r} - \frac{1}{p} = \frac{eN}{f^2}$$

La relation reprend bien évidemment les grandeurs que nous avons présentées au début de ce parcours : p , distance de mise au point; N , nombre d'ouverture; f' , distance focale; s et r , respectivement distances au premier et au dernier plan net.

Cette démonstration est un classique du genre qui conduit à une formule mathématique dont le but est d'être utilisable en pratique. Pour en arriver là, il a fallu faire plusieurs approximations en se plaçant dans des situations à la fois simples et idéales. Par exemple, l'origine des distances est déterminée à partir du centre optique, alors que, sur un plateau de cinéma, c'est le plan du capteur qui est pris en compte. De même, il est coutume dans certains cas de considérer que l'objet est suffisamment éloigné pour que son image se forme proche du foyer image de l'objectif. Dans ce cas, cette approximation conduit à définir des relations différentes selon la distance de mise au point à laquelle on travaille.

Mais, ce qui nous intéresse plus particulièrement ici est l'assimilation de l'objectif à une lentille mince supposée sans aberration. Cette condition nous impose de considérer le système comme parfait. Or, par principe, une lentille unique est entachée de tous les défauts optiques d'un système non corrigé. Dans ce cas, on nourrit le raisonnement d'une dimension pour le moins paradoxale. En effet, l'étude théorique de la profondeur de champ tend à ignorer les défauts réels des optiques, alors que c'est justement parce que l'ensemble des éléments qui concourent à fabriquer et à observer des images n'est pas parfait que la profondeur de champ existe. Par ailleurs, la qualité optique ainsi que les résidus de correction sont des vecteurs esthétiques importants.

La démonstration classique de la profondeur de champ confère au cercle de confusion un rôle important, mais très certainement en deçà de celui qui devrait lui être dévolu. Cette grandeur est fondamentale, car elle est le vecteur même de la spatialisation.

Mathématiquement, l'expression $e = f' \alpha$ fait appel à deux concepts subjectifs : f' , distance focale normale assimilée à la distance orthoscopique et α , critère de netteté angulaire moyen de l'œil humain. Ces deux notions sont très relatives, car elles sont liées au système visuel et dépendent de nombreux paramètres.

On comprendra donc que la notion de cercle de confusion ne peut être qu'ambiguë, puisqu'il s'agit d'un *seuil*. Cette définition mériterait d'être associée à l'adjectif *différentiel*, car il s'agit davantage d'un seuil différentiel que d'un seuil absolu. La profondeur de champ n'est pas un concept manichéen. La transition du net au flou n'est pas de nature binaire. Cela corrobore la terminologie adoptée, celle du *continuum flou/net de profondeur*, et atteste que cette quantification du flou n'est jamais que le prolongement logique de l'étude initiale portant sur la profondeur de champ.

Enfin, la chaîne photographique ou cinématographique est absente de la démonstration précédente, renforçant l'idée même qu'un seuil caractérisant un brutal passage du net au flou n'a pas vraiment de sens.

[1] Ce terme n'a jamais été employé pour caractériser le cercle de confusion.

Depth of Field

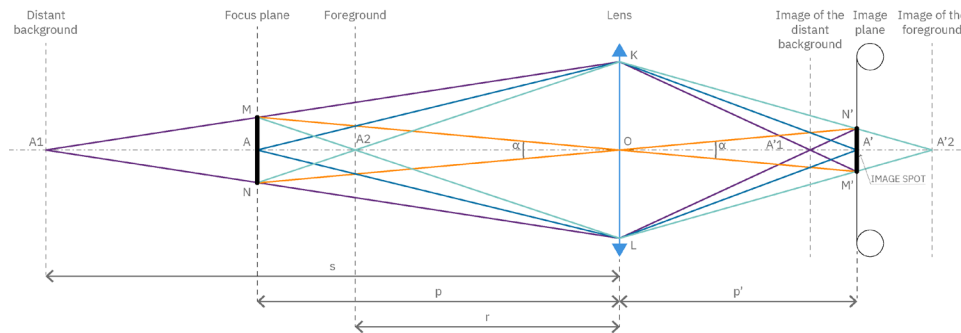
by Pascal Martin

Translation: Timothy Barnard

Understanding the Underlying Principle

Depth of field is a concept which correlates perfectly with focus. It supports a number of paradigms, the most astonishing of which is to exist by default. If all the elements which contribute to the fabrication, recreation and observation of the image were free of defects, the concept itself would not exist, and neither photography nor cinema would have been invented, at least in their current technological forms.

The ambition of the present text is, without entering into a detailed study, not only to summarize the principle but also to introduce a degree of distance between the classical model and an analytical reality specific to ideas formed through practical experience and several years of research. The following diagram, constructed along an axis, will serve as the basis for reasoning whose mathematical tools have been borrowed from geometrical optics:

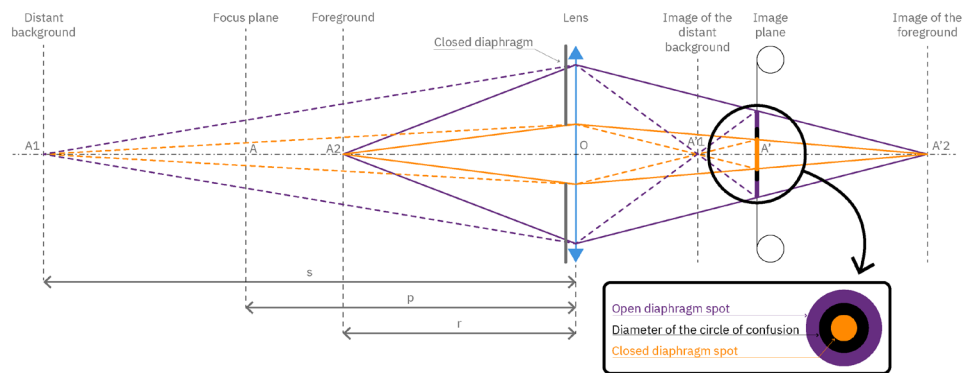


A diagram illustrating the principle of depth of field. [See database entry.](#)

Focus is carried out on object A located on the optical axis of the camera lens. This lens system is a thin lens without aberrations. The image of A, or A', forms on the film, at the intersection of the film and the optical axis. Object A₁, situated in front of A (spatially similar), admits by means of optical conjugates an image A'₁. Object A₂, situated behind A (spatially similar), admits by means of optical conjugates an image A'₂. A₁ and A₂ are located on either side of the sensitive surface. In each case, this surface does not record these images directly, but rather their traces. That of A'₁ corresponds to the posterior part of the cone, while that of A'₂ corresponds to the posterior part. These traces are projections in the sense of Euclidian geometry. In the present case, these projections are the intersection of a cone and a plane perpendicular to its axis of revolution, meaning a circle.

The concept of the circle of confusion is introduced at this point, and alone determines the concept of depth of field. By definition, the circle of confusion is the maximum size beyond which the eye stops confusing a spot with a point. Beyond this threshold^[1], the spot becomes increasingly visible and the images cease to be sharp.

On this basis of this fairly simple reasoning, it is easy to demonstrate without calculations the impact of the three fundamental parameters which influence depth of field directly. These are the opening, the focal distance and the focus distance. The following diagram can serve as a point of departure for explaining depth of field, principally by foregrounding the impact of the diaphragm.



Effect of closing the diaphragm on the depth of field. [See database entry.](#)

Let's look, in this diagram, at two pairs of rays of light emanating from points A_1 and A_2 . The former pair, shown in dashes, corresponds to an open diaphragm; the latter pair, shown with a solid line, corresponds to a partially closed diaphragm. It can be seen that closing the diaphragm does not affect the relative positions of A' , A'_1 or A'_2 . Focus is made on A . When the diaphragm is open, the incident cones coming from A_1 and A_2 are wider, and their conjugates as well. In this case, the spot produced on the sensitive surface (materialized following a plane perpendicular to the figure by an obliquely hatched circle) is higher than the circle of confusion. By closing the diaphragm, the base of the cone diminishes and the intersection with the plane of the film also recedes (giving the black circle). The spot is lower than the circle of confusion, and A'_1 and A'_2 are sharp. It can thus easily be seen that the more one closes the diaphragm, the more one can distance A_1 and A_2 from their respective positions in order to extend towards a spot slightly below the circle of confusion.

With respect to the focal distance, it is also possible, without resorting to calculations, to demonstrate its impact: the longer the focal distance, the greater the gap between the segments A'_1A' and $A'A'_2$ (in the preceding hypotheses). For an identical useful opening diameter, the cones will admit weaker intersections with the plane of the film. Finally, focus involves the same principle of reflection in the sense that the closer the objects are to the camera lens, the farther away the images will be and the greater the relative gaps between them. Readers who are laypeople in applied optics will note that the classical description of the geometrical phenomenon characterizing depth of field is fairly simple. They will also note that the "circle of confusion" is large in size, because it defines the shift from sharp to blurry.

A Conventional Demonstration

In the triangles MNA_1 and KLA_1 :

$$(1.0) \quad \frac{MN}{KL} = \frac{AA_1}{OA_1} = \frac{s-p}{s}$$

In the triangles MNA_2 and KLA_2 :

$$(1.1) \quad \text{then} \quad \frac{MN}{KL} = \frac{AA_2}{OA_2} = \frac{r-p}{r}$$

$$\frac{MN}{KL} = \frac{s-p}{s} = \frac{r-p}{r}$$

KL represents the diameter of the useful opening, meaning the entrance pupil.

In the case of a thin lens, the entrance and exit pupils are combined.

$$(1.2) \quad \text{Let } KL = \emptyset P_E$$

$$\text{since } \frac{1}{N} = \frac{\emptyset P_E}{f'} \Rightarrow \emptyset P_E = \frac{f'}{N}$$

MN admits as an image $M'N'$, meaning e (the diameter of the circle of confusion).

It is generally admitted that:

$$(1.3) \quad MN = \alpha p$$

And thus that, by replacing (1.2) and (1.3) in (1.1), we obtain:

$$(1.4) \quad \frac{MN}{KL} = \frac{s-p}{s} = \frac{r-p}{r}$$

$$\frac{\alpha p N}{f'} = \frac{s-p}{s} = \frac{r-p}{r}$$

$$\frac{\alpha N}{f'} = \frac{s-p}{s \cdot p} = \frac{r-p}{r \cdot p}$$

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{s} = \frac{1}{r} - \frac{1}{p} = \frac{\alpha N}{f'}$$

With $p = OA$, $s = OA_1$ and $r = OA_2$

$$(1.5) \quad \frac{\alpha N}{f'} = \frac{s-p}{s \cdot p} = \frac{r-p}{r \cdot p}$$

If the object is at a distance more than twenty times the focal distance, we can conflate p' and f' , making it possible to write $e = f' \cdot \alpha$. In this case, the overall equation becomes:

$$(1.6) \quad \frac{1}{p} - \frac{1}{s} = \frac{1}{r} - \frac{1}{p} = \frac{eN}{f^2}$$

The relation obviously takes on the values presented at the beginning of this parcours: p , the focus distance, N , the number of the opening, f' , the focal distance, and s and r , respectively, the distances to the first and last in-focus shot.

This demonstration is a classic of its kind which leads to a mathematical formula whose goal is to be utilisable in practice. To achieve that, several approximations were necessary, by putting ourselves in simple, ideal situations. For example, the source of the distances is determined from the optical centre, whereas on a film set the plane of the sensor is taken into account. Similarly, in some cases it is customary to view the object as sufficiently far away for its image to form near the lens' focal point. In this case, this approximation leads to defining different relations, depending on the focus distance with which one is working.

But what interests us more particularly here is the supposition that the camera lens is a thin lens without aberration. This condition obliges us to view the system as perfect. And yet in principle a single lens is marred by all the optical defects of an uncorrected system. In this case, we employ reasoning of a dimension that is paradoxical to say the least. For the theoretical study of depth of field tends to ignore the real defects in lenses, and yet it is precisely the fact that the ensemble of elements which work together to fabricate and observe images is not perfect that depth of field exists. In addition, optical quality and the residues of correction are important aesthetic vectors.

The classical demonstration of depth of field grants the circle of confusion a major role, but this certainly falls short of the role which should fall to it. This measure is fundamental, because it is the very vector of spatialization.

Mathematically, the expression $e = f' \alpha$ calls on two subjective concepts: f' , the normal focal distance, likened to the orthoscopic distance, and α , the human eye's criterion of average angular sharpness. These two concepts are quite relative, because they are tied to the visual system and depend on a number of parameters.

It can thus be seen that the concept of the circle of confusion can only be ambiguous, because it is a threshold. This definition merits being joined with the adjective differential, because it is more of a differential threshold than an absolute one. Depth of field is not a Manichean concept. The transition from sharpness to blurriness is not binary. This corroborates the terminology adopted here, that of the *blurriness/sharpness depth continuum*, and attests that the quantification of blurriness is never more than the logical extension of the initial study of depth of field.

Finally, the photographic or cinematic chain is absent from the preceding demonstration, reinforcing the very idea that a threshold describing a brutal shift from sharpness to blurriness really makes no sense.

.....

[1] This term has never been used to describe the circle of confusion.