

LES BASES DE LA PHOTOGRAPHIE

LA PROFONDEUR DE CHAMP





De la profondeur de champ à l'Hyperfocale



Quand on débute en photographie, on est en droit de penser que le seul rôle du diaphragme d'un objectif est celui d'un robinet à lumière. Ce n'est pas tout à fait exact. Un des premiers fondamentaux en photographie est de savoir que le diaphragme est aussi un robinet à profondeur de champ (1). Plus le chiffre du diaphragme est élevé, plus la PdC est importante.

Ce petit livret se propose de vous apporter les éléments indispensables pour maîtriser cette PdC si utile quand on veut isoler son sujet dans l'espace pour capter le regard de l'observateur ou donner du volume à une scène. Seront étudiées les notions clés que sont le concept de netteté, la longueur focale d'un objectif, les valeurs d'un diaphragme, le cercle de confusion (1) et la distance Hyperfocale.

(1) Pour faire court, on parlera désormais de PdC pour « Profondeur de Champ » et de CdC pour « Cercle de Confusion ».



On voit assez clairement sur cette photo prise à Ferrassières (Drôme) que la netteté s'estompe entre les pieds de lavande du premier plan et la colline verte qui ferme l'horizon. Curieusement, personne ne peut affirmer que le premier plan est parfaitement net alors que tout le monde s'accordera à dire que cette borie provençale, avec sa muraille de pierres sèches, est légèrement floue. Pourquoi ?

Parce que la netteté n'existe pas en tant que telle. Pas plus qu'un sentiment comme la peur ou la douleur, on ne peut la quantifier. Il s'agit d'un sentiment subjectif. En termes de mathématiques, on dirait que la netteté est une droite asymptotique dont chacun peut s'approcher plus ou moins selon ses exigences et ses capacités visuelles, mais que nul ne peut atteindre.

Lorsqu'on fait la mise au point sur un sujet à l'aide d'un dépoli, d'un télémètre à coïncidence, sur une couronne (Fresnel, microprismes ou stigmomètre) ou à l'aide d'un système AF (autofocus), on décide d'une plage de netteté dans la profondeur, mais l'oeil humain est bien trop imparfait pour dire où se trouvent les plans avant et arrière de cette plage.

Quand on parle de profondeur de champ, on se base le plus souvent sur une construction géométrique appelée «cercle de confusion» qui a un rapport direct avec la netteté. De quoi s'agit-il ?



Grâce à la présence d'un plus grand nombre de fovéas que chez l'homme, l'oeil de cet aigle pêcheur lui permet de distinguer une proie jusqu'à un kilomètre de distance (les fovéas agissent comme des loupes à fort grossissement : 6 à 8X).

Un oeil humain parfait, donc dénué de tout trouble de la réfraction, a une acuité visuelle de 10/10 s'il a un pouvoir séparateur d'une minute d'arc. Dans ce cas, on parle d'un oeil « emmétrope ». Pour illustrer cet angle, disons qu'il correspond à deux lignes séparées d'un millimètre observées à une distance de 3,5 m. Un oeil emmétrope distinguera les deux lignes, tandis qu'un oeil imparfait n'en verra qu'une, les deux étant confondues.

En photographie, la valeur du CdC est proportionnelle à la taille (longueur de la diagonale) du film ou du capteur utilisé. il se calcule en microns ou en millimètres. On en a impérativement besoin pour calculer ensuite la distance hyperfocale qui est, pour un objectif et une ouverture donnés, la distance de mise au point offrant la plus grande profondeur de champ possible.

Mais comment calculer la valeur d'un CdC pour pouvoir l'utiliser ?



Pour calculer la valeur d'un cercle de confusion **C** on utilise généralement la formule de Zeiss :

$$c = \frac{d}{1730}$$

où **d** est la longueur de la diagonale en mm du film ou du capteur.

Cette formule donne les CdC pour les différents types de capteurs actuels du marché (les formats de trop petite taille ne figurent pas dans cette étude).

Capteurs	L	H	diag.	Réduc.	CdC
Moyen format	53,9	40,4	67,4	0,6	0,039
Moyen format	44	33	55,0	0,8	0,032
Full frame 24 x 36	36	24	43,3	1,0	0,025
APS-H Canon	28,7	19	34,4	1,3	0,020
Kodak	26,5	17	31,5	1,4	0,018
APS-C Nikon Sony Pentax Fuji	23,6	15,7	28,3	1,5	0,016
APS-C Canon	22,2	14,8	26,7	1,6	0,015
Foveon Sigma	20,7	13,8	24,9	1,7	0,014
Micro 4/3 Panasonic Olympus	17,3	13	21,6	2,0	0,013

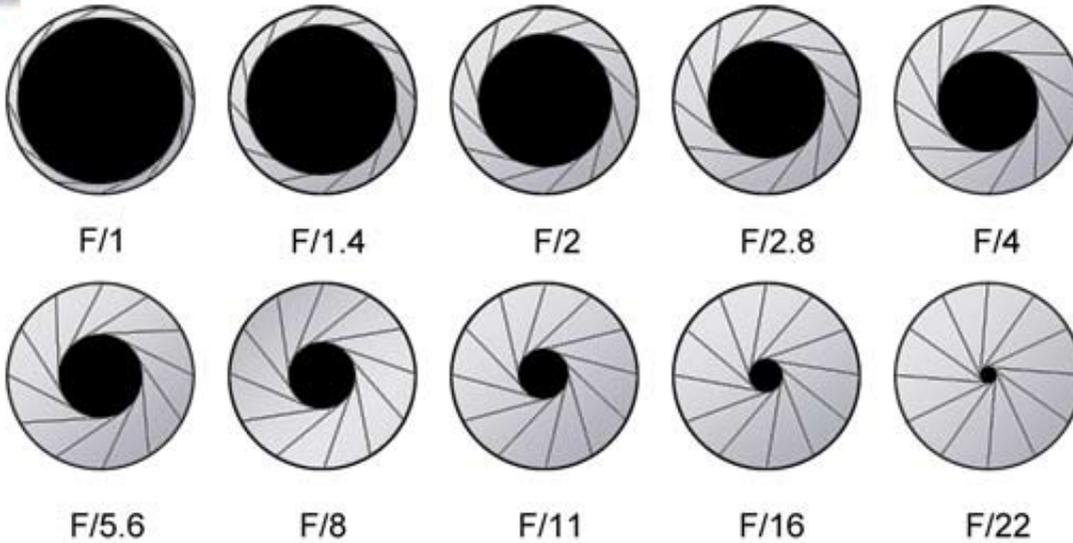
On voit à la 3e ligne du tableau que le CdC d'un capteur plein format (full-frame en Anglais) est égal à 0,025 mm, soit 25 microns.

Pour pouvoir aborder le calcul de la distance Hyperfocale « H » qui est, rappelons-le, la distance de mise au point qui permet d'obtenir la plus grande profondeur de champ possible, il faut savoir comment fonctionne le diaphragme d'un objectif.





Le diaphragme et les ouvertures



Cet objectif, en ouvrant à F/1 est très lumineux. Il possède dix crans entre F/1 et F/22. On parle de stops ou de diaphs. Ainsi, lorsque l'objectif est ouvert à F/11, on peut encore fermer l'ouverture de 2 stops ou l'ouvrir de 7 stops. Pourquoi ces chiffres bizarres (1, 1.4, 2, 2.8, etc.) et à quoi correspondent-ils ?

Ces chiffres n'ont pas été choisis de façon arbitraire. Ils correspondent à une suite géométrique de raison 1,414 (racine de 2). Ainsi le diaphragme le plus fermé est égal à 22 (1,414 à la puissance 9). Les valeurs sur la 3e ligne du tableau sont les arrondis standards qu'on trouve sur les objectifs.

Puissance	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,414	1,0000	1,4142	2,0000	2,8284	4,0000	5,6569	8,0000	11,3137	16,0000	22,6274
	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22

Pourquoi 1,414 ? Parce qu'on travaille en surface d'ouverture ; chaque fois qu'on ouvre le diaphragme d'un stop on double la surface d'ouverture, donc la quantité de lumière entrant dans la chambre. La surface de l'ouverture (en haut en noir) à F/2.8 est deux fois plus importante qu'à F/4. La réciproque est vraie, quand on ferme d'un stop il entre 2 fois moins de lumière dans la chambre. Nous avons maintenant tous les éléments en main pour parler du calcul de l'hyperfocale H.



Calcul de l'Hyperfocale



Avec la diagonale **d** du capteur, l'ouverture **N** du diaphragme et la focale **f** de l'objectif, on a tout pour calculer la distance hyperfocale **H**.

1 - Avec la diagonale **d** du capteur, on calcule d'abord **c** (le CdC) :

$$c = \frac{d}{1730}$$

ici $c = 0,025 \text{ mm}$

2 - Avec la focale **f** de l'objectif, l'ouverture **N** du diaphragme et le CdC **c**, on calcule la distance hyperfocale **H** en mètres en appliquant la formule :

$$H = \frac{f^2}{10^3 N c}$$

ici $H = 40 \text{ m}$

On peut aller plus vite en évitant l'étape intermédiaire qu'est le calcul du CdC en appliquant la formule suivante :

$$H = 1,73 \frac{f^2}{d \times N}$$

ici $H = 40 \text{ m}$



Vu la complexité de ce calcul, on est en droit de se poser deux questions :

- 1) A quoi sert la distance hyper focale ?
- 2) Peut-on contourner ce calcul ?

1) A QUOI SERT LA DISTANCE HYPERFOCALE ?

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce n'est pas en faisant la mise au point sur un sujet visible à l'infini qu'on obtient la plus grande PdC possible, mais en la faisant sur la distance hyper focale H. D'où la nécessité d'en connaître la valeur quand les circonstances l'exigent ; par exemple, pour photographier un peloton de course cycliste ou le départ d'une course nautique.

Cela est encore plus vrai lorsqu'on veut une zone de netteté précise comportant un plan avant et un plan arrière. En nature morte, par exemple.

2) PEUT-ON FAIRE PLUS SIMPLE ?

Fort heureusement , il existe de nombreuses solutions pour cela.

On peut utiliser :

- une table de PdC pour une focale donnée ;
- une échelle de PdC lorsqu'il y en a une sur l'objectif utilisé ;
- un calculateur de PdC sur Smartphone ;
- la méthode optique lorsqu'on a une bonne vue.

La plupart des photographes utilisaient l'échelle de PdC des objectifs, mais elles ont pratiquement disparu depuis l'avènement de l'autofocus. Aujourd'hui, on se sert de la méthode optique pour le paysage ou du calculateur de PdC de plus en plus souvent intégré au firmware des boîtiers.



UTILISATION D'UNE TABLE DE PDC

La page de la table de PdC ci-dessous concerne l'objectif Sonnar F/2 de 85 mm du Contarex «Bullseye» de Zeiss Ikon. On voit qu'à une ouverture de F/11 une mise au point à 15 m offre une PdC de 7,05 m à l'infini.

Profondeur de champ pour ZEISS SONNAR 2 de 85 mm								
Cercle de confusion: 0,05 mm								
Distance	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22
∞	71,18-∞	50,89-∞	35,68-∞	25,53-∞	17,92-∞	13,08-∞	9,05-∞	6,62-∞
∞	21,16-51,73	18,94-72,93	16,36-189,87	13,86-∞	11,28-∞	9,16-∞	7,00-∞	5,46-∞
15	12,43-18,94	11,63-21,18	10,61- 25,75	9,51-36,18	8,23-92,97	7,05-∞	5,70-∞	4,65-∞
10	8,80-11,60	8,39-12,39	7,85- 13,81	7,24-16,31	6,48-22,43	5,73-42,52	4,81-∞	4,05-∞
6	5,55- 6,53	5,39- 6,77	5,17- 7,17	4,90- 7,77	4,54- 8,91	4,17-10,93	3,67-17,64	3,21-69,72
4	3,80- 4,22	3,73- 4,32	3,62- 4,47	3,49- 4,70	3,31- 5,08	3,11- 5,67	2,83- 7,02	2,56- 9,90
3	2,89- 3,12	2,85- 3,17	2,79- 3,25	2,71- 3,37	2,60- 3,56	2,48- 3,82	2,30- 4,38	2,12- 5,33
2	1,95- 2,05	1,93- 2,07	1,91- 2,10	1,87- 2,15	1,82- 2,22	1,76- 2,32	1,68- 2,50	1,58- 2,77
1,5	1,47- 1,53	1,46- 1,54	1,45- 1,56	1,43- 1,58	1,40- 1,61	1,37- 1,66	1,32- 1,75	1,26- 1,87
1,2	1,18- 1,22	1,17- 1,22	1,17- 1,23	1,16- 1,25	1,14- 1,27	1,12- 1,30	1,09- 1,35	1,05- 1,41
1,0	0,99- 1,01	0,98- 1,02	0,98- 1,02	0,97- 1,03	0,96- 1,04	0,95- 1,06	0,92- 1,09	0,90- 1,13
0,9	0,89- 0,91	0,88- 0,91	0,88- 0,92	0,88- 0,92	0,87- 0,93	0,86- 0,95	0,84- 0,97	0,82- 1,00
0,8	0,79- 0,81	0,79- 0,81	0,79- 0,81	0,78- 0,82	0,78- 0,83	0,77- 0,84	0,75- 0,85	0,74- 0,88

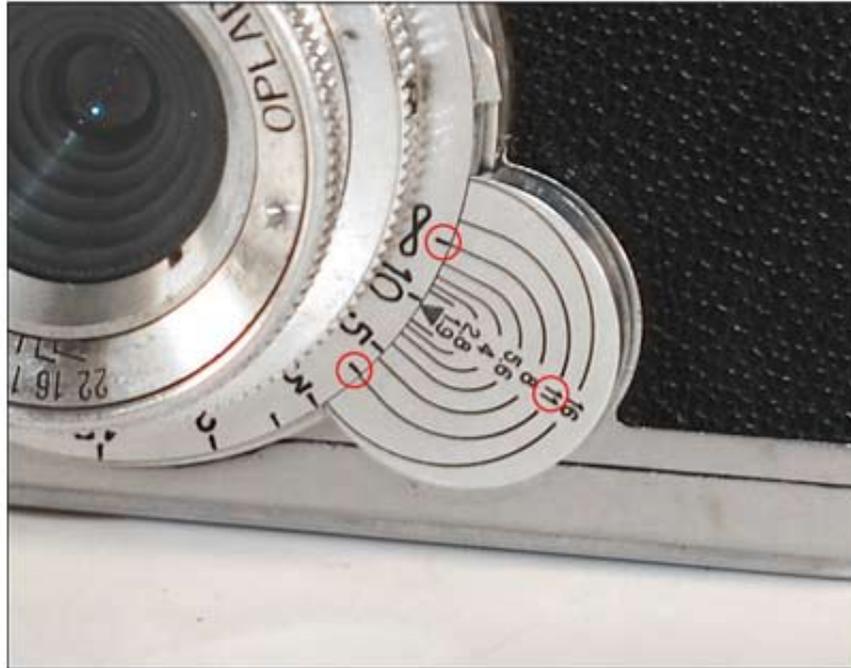
La distance est mesurée à partir du plan du film.

Vous noterez que Carl Zeiss, le père de la formule, utilise ici un CdC (cercle de confusion) de 0,05 mm. En fait, deux tableaux accompagnaient chaque objectif, le 1er pour un CdC de 0,05 mm et le second pour 0,03 mm. C'est dire combien les formules mathématiques utilisées pour calculer les CdC sont imprécises. Néanmoins, la valeur du CdC de 0,025 mm est la plus courante aujourd'hui pour le format 24 x 36 (plein format).

Le principal inconvénient de ce système était de contraindre le photographe à avoir un tableau de ce type par objectif dans son sac.



L'ÉCHELLE DE PdC DE L'OBJECTIF



On trouve une échelle de PdC sur certains anciens boîtiers. Ici, sur les télémétriques FOCA (O.P.L.) on a un système de courbes assez ingénieux. On place le symbole ∞ (infini) sur l'ouverture (ici F/11), on suit la courbe et on voit qu'elle tombe exactement sur le repère des 4m. A cette ouverture, l'image sera nette entre 4 m et l'infini.



Sur ce Biometar F/2.8 de 80 mm Carl Zeiss Jena, le système est plus courant. Pour une ouverture de F/11, on place le symbole ∞ sur 11 et on voit à gauche que le 1er plan net sera à environ 4,30 m et à droite à l'infini.



UN CALCULATEUR DE PROFONDEUR DE CHAMP SUR SMARTPHONE



Il existe aujourd'hui des applications qui permettent de calculer la PdC dans toutes les situations. Ici, il s'agit de l'app. **SetMyCamera**.

Il suffit d'entrer le modèle de son appareil photo pour avoir la longueur de la diagonale de son capteur, de sélectionner la focale de l'objectif monté sur le boîtier et d'entrer une ouverture. Le calculateur retourne la valeur de la distance hyperfocale H (ici 10,28 m).

- si on fait la mise au point sur cette valeur H, on obtient la distance du premier plan net (P1 = 5,14 m) et de l'arrière-plan net (P2 = infini).

- si on fait la mise au point sur un sujet précis (ici à 5 m) on obtient les distances de netteté P1 = 3,37 m et P2 = 9,54 m.



4 - LA MÉTHODE OPTIQUE

Le plus important : ce n'est pas en fermant complètement son diaphragme et en faisant la mise au point sur un détail visible à l'infini qu'on obtient la plus grande profondeur de champ possible.

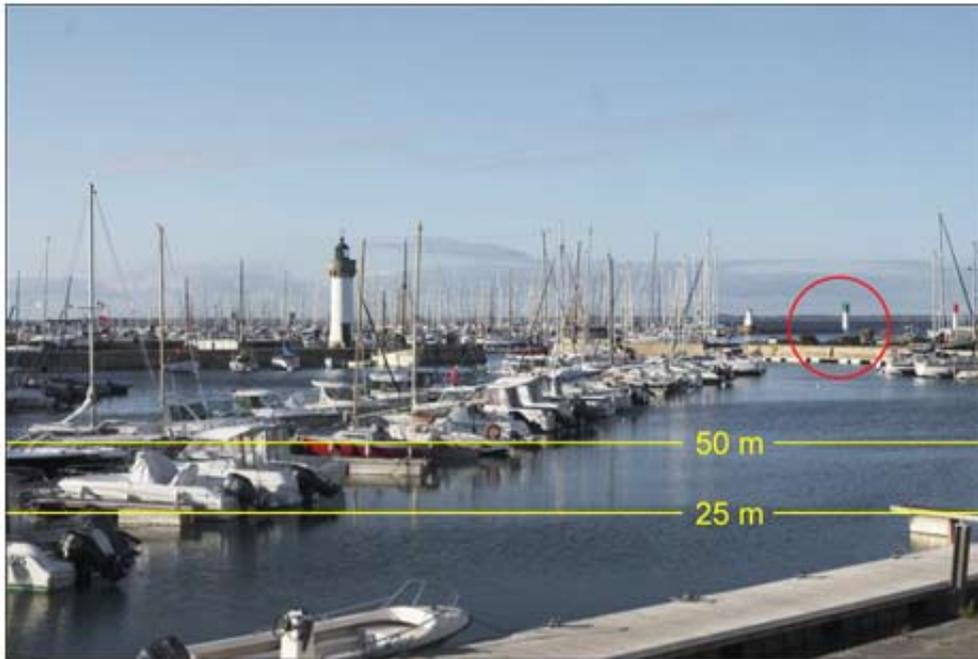
Alors, comment faut-il faire ?

La méthode optique permet d'obtenir la plus grande profondeur de champ possible entre un premier plan P1 et un arrière plan P2 situé à l'infini. Elle nécessite une bonne vue (éventuellement corrigée) et un boîtier correctement réglé en dioptrie.

- a) on fait la mise au point, en tournant complètement la bague prévue à cet effet, sur un détail qui se trouve à l'infini ∞ .
- b) on repère dans l'oculaire le 1er plan net. **Il s'agit de la distance hyperfocale H.**
- c) on fait la mise au point sur ce repère et on déclenche.

Cette méthode en deux temps, très simple à retenir, permet d'avoir une photo nette entre un premier plan **P1** qui se trouve en gros **à mi-distance** entre le photographe et le repère (= $H/2$) , et un arrière plan **P2** qui se trouve à l'infini.

Cette méthode présente l'avantage de ne nécessiter aucun moyen particulier, ce qui est aujourd'hui d'autant plus utile que les objectifs n'ont plus d'échelle de profondeur de champ gravée sur le fût. Son seul inconvénient est de poser problème aux personnes portant des lunettes et pouvant avoir, de ce fait, des difficultés pour bien repérer le premier plan net.



- a) on fait la mise au point sur un détail qui se trouve à l'horizon (ici entouré en rouge) ;
b) on repère le 1er plan qui semble net, ici le bateau à la coque rouge amarré à la verticale du phare ; il s'agit de la distance hyperfocale H . Elle se trouve à environ 50 m.



- c) on fait la mise au point sur le bateau rouge et on est net de 25 m à l'infini.

FIN

