

# DicoPhoto



“You don’t take a photograph, you make it” – Ansel Adams (1902-1984)

Jean-Gaël Gricourt

e-mail: [jgricourt@gmail.com](mailto:jgricourt@gmail.com)

Version 3.0

4 février 2025

## Résumé

Ce document est un glossaire regroupement mes notes et mes observations sur la pratique de la photo. Ces notes sont susceptibles d'évoluer fréquemment au grès de mes aspirations.

Contact : [jgricourt@gmail.com](mailto:jgricourt@gmail.com)

# Table des matières

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Le triangle de l'exposition</b>                        | <b>6</b>  |
| 1.1      | Expodo le donuts de l'exposition                          | 8         |
| 1.2      | L'indice de lumination IL / EV / Stop                     | 8         |
| 1.3      | Mesures de la lumière                                     | 13        |
| 1.4      | L'histogramme   | 15        |
| 1.5      | Les ISOs  | 16        |
| 1.6      | La compensation d'exposition                              | 27        |
| 1.7      | Mesure de l'exposition                                    | 28        |
| 1.8      | La Photométrie  | 28        |
| 1.9      | Les Règles et Recettes en photo                           | 32        |
| 1.10     | Le Rapport F/D  | 34        |
| <b>2</b> | <b>Le champ</b>   | <b>36</b> |
| 2.1      | Le profondeur de champ                                    | 37        |
| 2.2      | La distorsion du champ                                    | 38        |
| 2.3      | Le Bokeh  | 38        |
| 2.4      | L'hyper focale  | 39        |
| 2.5      | Le Vignetting   | 45        |
| <b>3</b> | <b>La Résolution</b>                                      | <b>45</b> |
| 3.1      | La résolution limité par l'objectif                       | 45        |
| 3.2      | La résolution limité par les pixels                       | 45        |
| 3.3      | La résolution limitée par la focale à l'ouverture minimum | 47        |
| 3.4      | Le flou de bougé  | 47        |
| 3.5      | La résolution et le contraste                             | 48        |
| 3.6      | Notion subjective de "Sharpness"                          | 49        |
| 3.7      | La résolution limitée par la vision                       | 50        |
| <b>4</b> | <b>Le Bruit</b>   | <b>50</b> |
| 4.1      | Shot Noise / Bruit photonique                             | 54        |
| 4.2      | Read Noise / Bruit de lecture                             | 56        |
| 4.3      | Thermal Noise / Bruit thermique                           | 57        |
| 4.4      | Pattern Noise   | 58        |
| 4.5      | Logiciels de débruitage                                   | 58        |
| <b>5</b> | <b>La dynamique du capteur</b>                            | <b>58</b> |
| 5.1      | Plage dynamique   | 58        |
| 5.2      | Expose to the right                                       | 64        |
| 5.3      | Expose to the right règle +1.33 IL                        | 66        |
| <b>6</b> | <b>Les capteurs APS-C</b>                                 | <b>66</b> |
| 6.1      | Les différences liées au cadrage                          | 66        |
| 6.2      | Conséquence de la plus grande densité de pixels           | 67        |
| 6.3      | Performances en basse luminosité                          | 67        |
| 6.4      | Performance des capteurs à hautes densité en pixels       | 68        |
| 6.5      | Encombrement / poids / prix                               | 68        |
| 6.6      | Usage de prédilection                                     | 68        |
| <b>7</b> | <b>Macrophoto</b>   | <b>68</b> |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>8</b>  | <b>Les couleurs et la résolution</b>    | <b>71</b>  |
| 8.1       | Les couleurs . . . . .                  | 71         |
| 8.2       | Espace colorimétrique . . . . .         | 73         |
| 8.3       | Luminance . . . . .                     | 76         |
| 8.4       | CFA . . . . .                           | 76         |
| 8.5       | Le codage vidéo . . . . .               | 76         |
| 8.6       | La matrice de Bayer . . . . .           | 77         |
| 8.7       | L'aliasing . . . . .                    | 79         |
| 8.8       | Les LUTs . . . . .                      | 79         |
| 8.9       | Les outils AI . . . . .                 | 80         |
| <b>9</b>  | <b>Les filtres</b>                      | <b>80</b>  |
| 9.1       | Filtre Polarisant . . . . .             | 80         |
| 9.2       | Filtre ND . . . . .                     | 81         |
| <b>10</b> | <b>Imprimantes</b>                      | <b>82</b>  |
| <b>11</b> | <b>Technologies des APN - 1</b>         | <b>86</b>  |
| 11.1      | Le flash . . . . .                      | 86         |
| 11.2      | Flash parapluie . . . . .               | 89         |
| 11.3      | Autofocus . . . . .                     | 89         |
| 11.4      | Vitesse de lecture du capteur . . . . . | 91         |
| 11.5      | Taille des pixels et bruit . . . . .    | 91         |
| 11.6      | Obturateur . . . . .                    | 93         |
| 11.7      | Rolling shutter . . . . .               | 96         |
| 11.8      | Electronic Shutter . . . . .            | 96         |
| 11.9      | Noise Reduction . . . . .               | 96         |
| 11.10     | Le Crop factor . . . . .                | 97         |
| 11.11     | BSI Sensor . . . . .                    | 97         |
| 11.12     | Stacked BSI Sensor . . . . .            | 98         |
| 11.13     | Global Shutter Sensor . . . . .         | 99         |
| <b>12</b> | <b>Technologies des APN - 2</b>         | <b>99</b>  |
| 12.1      | Auto Bracketing . . . . .               | 99         |
| 12.2      | Focus Bracketing . . . . .              | 99         |
| 12.3      | Anti Flicker . . . . .                  | 100        |
| 12.4      | HDR . . . . .                           | 100        |
| 12.5      | La stabilisation . . . . .              | 100        |
| 12.6      | PSNR . . . . .                          | 100        |
| 12.7      | Pixel Shift . . . . .                   | 100        |
| 12.8      | Astrophoto . . . . .                    | 101        |
| 12.9      | Cine-lenses . . . . .                   | 102        |
| 12.10     | Anamorphic-lenses . . . . .             | 103        |
| 12.11     | Telecentric-lenses . . . . .            | 103        |
| <b>13</b> | <b>Monture</b>                          | <b>104</b> |
| <b>14</b> | <b>Moteurs autofocus Canon</b>          | <b>105</b> |
| <b>15</b> | <b>Adaptateur Speed Booster</b>         | <b>105</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>16 Termes de la photo</b>                        | <b>105</b> |
| 16.1 Hybrides / Mirroless                           | 105        |
| 16.2 Candid Photography                             | 106        |
| 16.3 Bokeh  | 106        |
| 16.4 Pixel Peeper                                   | 106        |
| 16.5 GAS  | 106        |
| 16.6 WAF  | 106        |
| 16.7 Vemödalen                                      | 107        |
| 16.8 BIF  | 107        |
| 16.9 SOOC   | 107        |
| 16.10 Science Of Color                              | 107        |
| 16.11 IQ  | 107        |
| 16.12 EVF   | 107        |
| 16.13 B-Roll  | 107        |
| 16.14 N-Log   | 107        |
| 16.15 Open Gate Recording                           | 107        |
| 16.16 Focus Breathing                               | 107        |
| 16.17 Objectif Parafocal                            | 108        |
| 16.18 Mirror Slap                                   | 108        |
| 16.19 Shutter Shock                                 | 108        |
| 16.20 Focus Throw                                   | 109        |
| 16.21 Sun Stars                                     | 109        |
| 16.22 Zone Focusing                                 | 110        |
| 16.23 Focus Tracking                                | 110        |
| 16.24 OCF   | 110        |
| <b>17 La photo argentique</b>                       | <b>111</b> |
| 17.1 La pellicule photo                             | 111        |
| 17.2 La pellicule cinéma ECN-2                      | 115        |
| 17.3 L'exposition du film                           | 116        |
| 17.3.1 Latitude d'expositon                         | 116        |
| 17.3.2 Loi de réciprocité                           | 118        |
| 17.3.3 Reciprocity Failure                          | 119        |
| 17.3.4 Familles de pellicules                       | 120        |
| 17.3.5 Zone System                                  | 121        |
| 17.3.6 Les rayons X                                 | 123        |
| 17.3.7 Conditions de stockage des films argentiques | 124        |
| 17.4 Le développement du film                       | 125        |
| 17.5 Le tirage                                      | 126        |
| 17.5.1 Scanner                                      | 126        |
| 17.5.2 Tirage papier                                | 128        |
| 17.6 Autofocus                                      | 128        |
| 17.7 Appareil photo argentique                      | 129        |
| 17.7.1 Twin Lens Reflex                             | 129        |
| 17.7.2 Télémétrique                                 | 129        |
| 17.7.3 Appareil photo "vintage" 35mm                | 129        |
| 17.7.4 La marque Nikon                              | 133        |
| 17.7.5 Rangefinder                                  | 135        |
| 17.7.6 Le moyen format                              | 135        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>18 La Photographie</b>  | <b>136</b> |
| 18.1 Types de photo . . . . .                                      | 137        |
| 18.2 Street Photo . . . . .  | 138        |
| 18.3 L'effet eau lisse . . . . .                                   | 141        |
| 18.4 L'effet filé . . . . .  | 142        |
| <b>19 Workflow Photo</b>   | <b>142</b> |
| 19.1 Tri des photos . . . . .                                      | 142        |
| 19.2 Développement des photos . . . . .                            | 144        |
| <b>20 Récapitulatif matériel photo</b>                             | <b>145</b> |
| <b>21 Liens Internet</b>   | <b>146</b> |
| 21.1 Galeries Photos . . . . .                                     | 146        |
| 21.2 Matériel . . . . .  | 146        |
| 21.3 Média . . . . .   | 146        |
| 21.4 Film . . . . .  | 146        |
| 21.5 Cours Photo . . . . .   | 146        |
| 21.6 Outils gratuits . . . . .                                     | 147        |
| 21.7 Appareils Vintages . . . . .                                  | 147        |
| 21.7.1 Info . . . . .  | 147        |
| 21.7.2 Achat . . . . .   | 147        |
| 21.7.3 Développement . . . . .                                     | 148        |
| 21.8 Adresses photo argentique . . . . .                           | 148        |
| 21.8.1 Développement . . . . .                                     | 148        |
| 21.8.2 Démontages . . . . .  | 148        |
| 21.8.3 Réparations . . . . .                                       | 148        |
| 21.8.4 Solutions pour les scans avec un APN . . . . .              | 149        |
| 21.9 Produits . . . . .  | 149        |
| <b>22 Photographers</b>  | <b>149</b> |
| 22.1 Henri Cartier Bresson (1908 - 2004) . . . . .                 | 149        |
| 22.2 Robert Doisneau (1912 - 1994) . . . . .                       | 150        |
| 22.3 Robert Capa (1913 - 1954) . . . . .                           | 150        |
| 22.4 Helmut Newton (1920 - 2004) . . . . .                         | 150        |
| 22.5 Ernst Haas (1921 - 1986) . . . . .                            | 151        |
| 22.6 Robert Frank (1924 - 2019) . . . . .                          | 151        |
| 22.7 Vivian Maier (1926 - 2009) . . . . .                          | 151        |
| 22.8 Garry Winogrand (1928 - 1984) . . . . .                       | 152        |
| 22.9 Elliott Erwitt (1928 - 2023) . . . . .                        | 152        |
| <b>23 Réflexions</b>   | <b>152</b> |
| 23.1 Faire de la photo c'est quoi ? . . . . .                      | 152        |
| 23.2 Arrêter de tous vous copier ! . . . . .                       | 153        |
| 23.3 Les ISOs produisent du bruit ! Vrai / Faux ? . . . . .        | 154        |
| 23.4 Les pellicules en 2024 sont hors de prix ! . . . . .          | 155        |
| 23.5 Le smartphone peut il remplacer un appareil photo ? . . . . . | 155        |
| <b>24 Achat</b>  | <b>156</b> |
| 24.1 Achat d'objectif photo . . . . .                              | 156        |
| 24.2 Achat boîtier photo . . . . .                                 | 157        |

|   |     |
|---|-----|
| 24.3 Achat objectifs . . . . .            | 157 |
| 24.4 Avantage d'un boitier APSC . . . . . | 158 |
| 24.5 Ressources . . . . .                 | 158 |

# 1 Le triangle de l'exposition

L'exposition désigne la quantité de lumière qui entre dans l'appareil photo et imprime la pellicule ou le capteur. Le triangle de l'exposition comprends 3 paramètres permettant de jouer sur la luminosité de l'image [16, 44, 88] :

- Ouverture mesurée en f/stop
- Temps d'exposition mesurée en fraction de secondes
- Sensibilité mesurée en ISO (ou ASA)

Malgré qu'il y ai 3 valeurs de réglage dans le triangle, seules l'ouverture et le temps d'exposition jouent sur la quantité réelle de lumière entrante dans l'APN, les ISOs ne servent qu'à amplifier la luminosité de l'image capturée une fois les électrons générées à partir des photons sur le capteur sont lus.

Les triangle de l'exposition



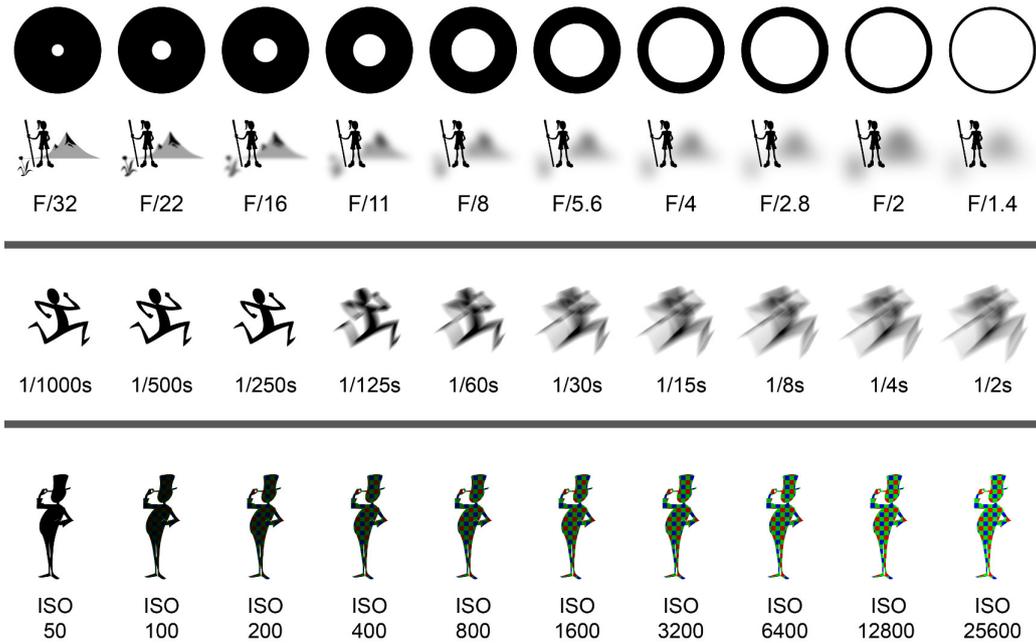
Credit : [Le Triangle d'exposition](#)

L'ouverture  $D$  est contrôlée par le diaphragme via une bague sur l'objectif par incréments : F/1.4, F/1.8, F/2.8, F/4, F/5.6, F/8, F/11, F/16, F/22

Le temps de pose  $t_p$  est contrôlée par l'obturateur "Shutter" qui peut être mécanique à rideau ou électronique sur les APN hybrides : 1sec, 1/2sec , 1/4sec, 1/8sec, 1/15sec, 1/30sec, 1/60sec, 1/125sec, 1/250sec, 1/500sec, 1/1000sec ...

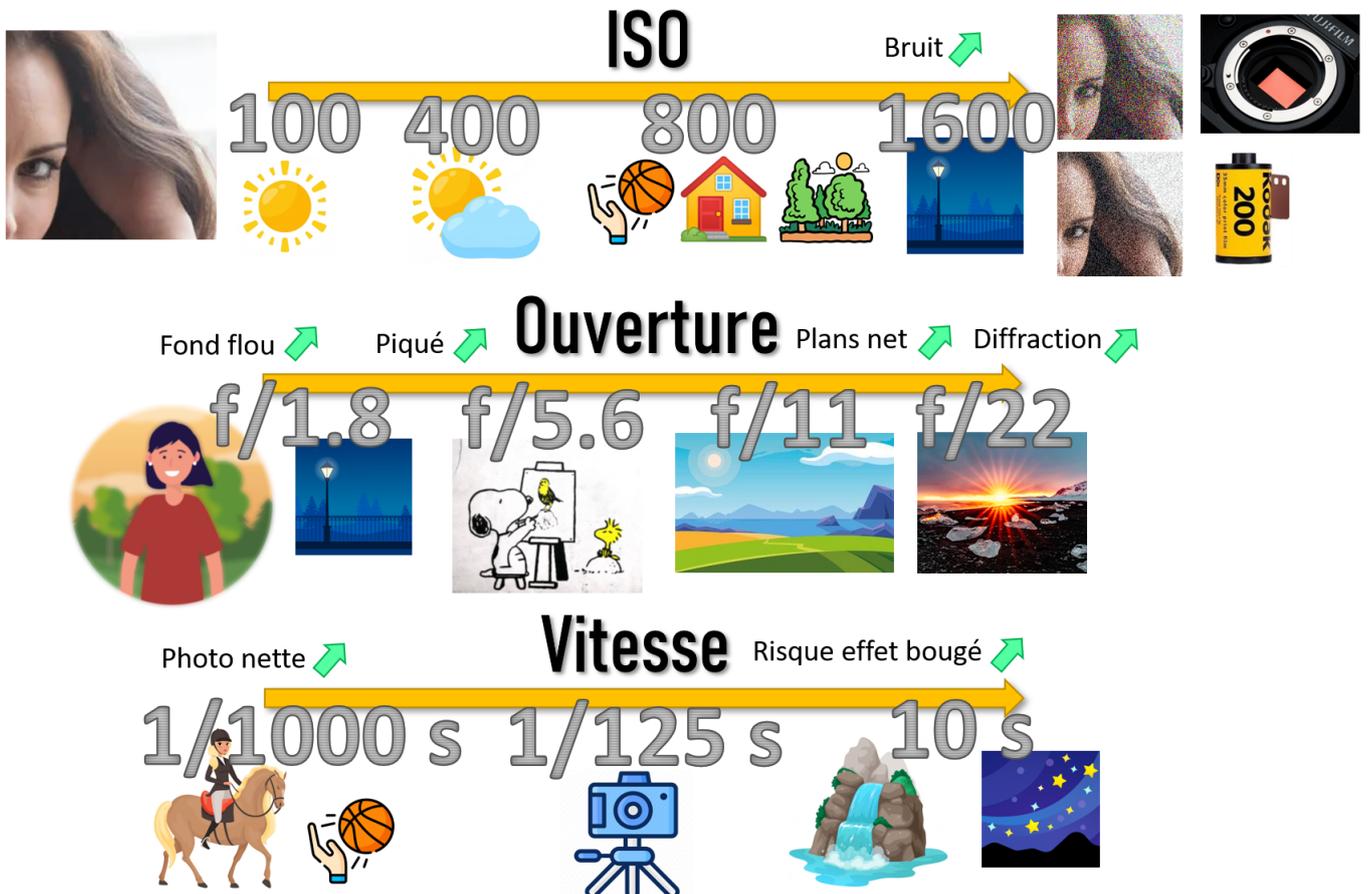
La sensibilité est contrôlée par le type de pellicule utilisée en argentique ou le gain appliqué au signal capturé par le capteur, dans ce dernier cas le mot est mal choisi pour les APN car la sensibilité ne modifie pas la capacité du capteur à capturer des photons comme pour la pellicule argentique : ISO 100, ISO 200, ISO 400, ISO 800, ISO 1600, ISO 3200, ISO 6400 ...

Le réglage (N, tp, S) de l'exposition



Credit : Photographie et traitement de l'image

Il y a donc différents réglages menant à une même exposition correcte, ceux ci permettent de prendre différents type de photos :



Credit : J.G. Gricourt

Pour éviter les flous de bouger, la vitesse d'obturation minimum requise à main levée est historiquement 1/60 sec à l'époque argentique cependant cela reste très long pour éviter les flous de bouger, pour être certains de ne pas bouger on prendra plutôt 1/125 sec. Cependant d'autres facteurs interviennent :

- L'appareil photo est doté d'un capteur monté sur un système anti-vibration IBIS on peut alors facilement prendre une vitesse minimum de 1/4 sec (idem si c'est l'objectif qui possède cette caractéristique)
- Si le sujet bouge rapidement il faudra bien sûr augmenter la vitesse d'obturation de manière plus conséquente pour figer le sujet

Pour éviter les flous de bouger, F est la focale en mm :

- Si le capteur est de 24 Mpixels ou moins, on prendra la formule suivante :  $tp = \frac{1}{1 \times F}$
- Si le capteur est de 45 Mpixels ou plus, on prendra la formule suivante :  $tp = \frac{1}{1.5 \times F}$  [114]

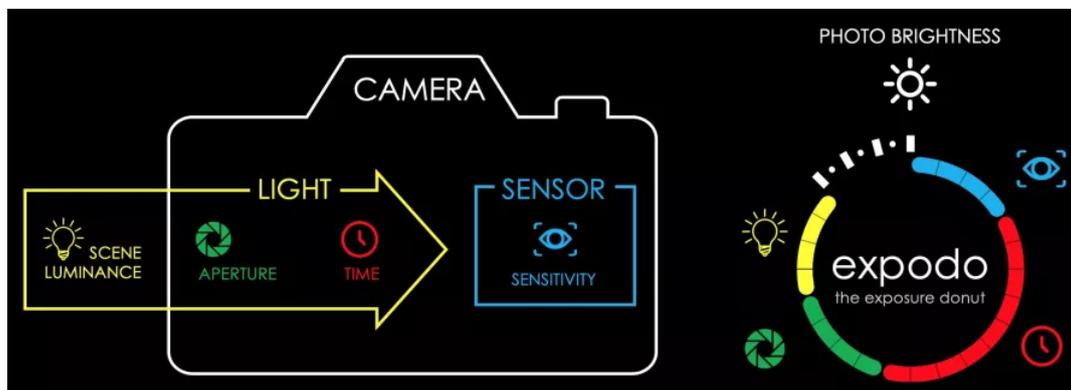
## 1.1 Exodo le donuts de l'exposition

Il s'agit d'une représentation conceptuelle de l'exposition destinée à rendre l'usage de l'appareil photo plus intuitive. Ce concept a été inventé par Tim Helweg-Larsen, il est protégé par un brevet [95].

Cette représentation comporte 4 curseurs :

- Red = "Motion Blur" = represents time (as in exposure-time/shutter speed in camera language)
- Yellow = "Brightness" = represents light = scene luminance
- Blue = "Grain Blur" = represents sensitivity (ISO)
- Green = "Background Blur" = represents aperture

The Exposure Donut



Credit : Beth Nicholls

## 1.2 L'indice de lamination IL / EV / Stop

La quantité de lumière reçue est l'indice de lamination = IL = Exposure Value = EV = Stop = Diaphragme et s'exprime en lux ou EV. Donc 1 EV correspond à une baisse de moitié de l'éclairement de la pellicule.

Définition de l'indice pour une sensibilité S nominale de 100 ISO [151] :

$$EV_{100} = \log_2 \frac{N^2}{tp}$$

Sachant  $N = \frac{F}{D}$  est le nombre d'ouverture et  $tp$  est le temps de pose en secondes. Il s'agit de la loi de réciprocité de la photographie.

Formule complète intégrant la sensibilité  $S$  en ISO [135] :

$$EV = EV_{100} - \log_2 \frac{S}{100}$$

Le posemètre de l'appareil se base sur la mesure de la lumière par la cellule pour indiquer la luminance  $EV$  de la scène permettant de déduire le tuple  $(N, tp, S)$  de l'exposition correcte qui donnera une image correspondant à un gris moyen. Dans le cas d'une photo sur-exposée  $EV > 0$  et d'une photo sous-exposée  $EV < 0$  [58].

Historiquement = "Middle Gray" le gris moyen correspond à un niveau de luminance de 18% calculé arbitrairement à partir d'une impression blanche réfléchissant 95% de la lumière et d'une impression noire réfléchissant 3.5% en faisant la moyenne géométrique :  $Level = \sqrt{95\% \times 3.5\%} = 18\%$ . L'oeil n'est pas un capteur linéaire et applique une correction gamma  $\gamma = 1/2.2$  [30, 60] :

$$Level = 100 \left( \frac{18}{100} \right)^{1/2.2} = 46\%$$

Donc l'oeil percevra ces 18% linéaire en 50% de gris environ.

De manière générale l'oeil perçoit plus facilement des différences de tons dans les basses lumières alors que l'oeil perçoit peu de différence dans les hautes lumières.

Un posemètre prend la mesure calibrée pour exposer correctement un sujet en niveau de gris de 18% donc dans le cas le pic de l'histogramme = "Mid Tones" sera calé à 50%. Des rumeurs indiquent aussi que pour certains appareils de mesure seraient plutôt calés sur 12% mais l'expérience montre que la plupart du temps c'est bien le 18% qui fait tomber le pic au centre de l'histogramme.

Depuis Ansel Adam recommandait de sur-exposer de 0.5 EV en utilisant comme référence une carte de référence à 18% gris afin d'obtenir un gris moyen de 12.5% sur la photo plus conforme aux capacités réelles de la vision humaine. On peut toutefois utiliser cette même carte en l'inclinant à 45° afin de visualiser 12.5% de gris environ [83, 49]. Selon le "Zone System" de Ansel Adam le gris moyen correspond à la zone V.

Conséquences dans 2 cas particuliers :

- Si la mesure de la cellule se fait sur un sujet devant un fond noir, le fond sera gris sur l'image
- Si la mesure de la cellule se fait sur un sujet devant un fond blanc, ex : neige, le fond sera gris sur l'image

Dans ces 2 cas la correction d'exposition permettra de rendre la tonalité originale de la scène.

## The right amount of light



Credit : [Kevin Ames](#)

Sur ces clichés la mesure de l'exposition a été réalisée successivement sur la carte noire, la carte grise 18%, blanche, le résultat est que l'image présentant la meilleure exposition est celle qui a été exposée pour la carte grise car la lumière réfléchie par la scène correspond aussi à cette dominance de gris moyen.

Avec un boîtier doté d'une cellule de type "Spotmeter" de mesure de lumière réfléchie on mesure la luminance  $L$  de la scène alors (à 100 ISO) [58] :

$$2^{\text{EV}_{100}} = \frac{N^2}{tp} = \frac{L \times S}{K = 12.5}$$

Avec une cellule posemètre on mesure l'illuminance  $E$  de la scène alors (à 100 ISO) [58] :

$$2^{\text{EV}_{100}} = \frac{N^2}{tp} = \frac{E \times S}{C = 250}$$

Le passage d'un palier supérieur dans l'échelle standard des ouvertures  $N$ , des vitesses  $tp$  ou des sensibilités  $S$  multiplie ou divise par 2 la quantité de lumière reçue et augmente ou diminue la valeur de l'exposition de exactement +1 EV.

Cas de l'ouverture du diaphragme si l'on prend un objectif dont le diaphragme est de rayon  $R_2 = \sqrt{2}R_1$  alors la surface de l'ouverture  $A_2$  vaut 2 fois celle de  $A_1$  :

$$A_2 = \pi R_2^2$$

$$A_2 = \pi(\sqrt{2}R_1)^2$$

$$A_2 = 2\pi R_1^2$$

$$A_2 = 2A_1$$

Or la quantité de lumière traversant l'objectif est proportionnelle à cette ouverture donc 2 fois plus de lumière rentre dans l'appareil photo lorsque le diamètre multiplié à  $\sqrt{2}$ . C'est pour cela que l'échelle standard des ouvertures vaut 1.0, 1.4, 1.8, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, de manière générale

$$N = (\sqrt{2})^{n=[0,1,2,3,4,5\dots]}$$

L'exposant  $n = EV$  déduit de l'ouverture :

$$N = (\sqrt{2})^n$$

$$N^2 = ((\sqrt{2})^2)^n$$

$$N^2 = 2^n$$

$$n = \log_2 N^2$$

$$n = 2 \log_2 N$$

La différence d'exposition EV correspondante :

$$\Delta EV = EV_2 - EV_1$$

$$\Delta EV = n_2 - n_1$$

$$\Delta EV = 2 \log_2 N_2 - 2 \log_2 N_1$$

$$\Delta EV = 2 \log_2(N_2/N_1)$$

Le rapport de l'éclairement  $E =$  Illuminance de la pellicule ou du capteur photo<sup>1</sup> vaut :  $E = kN^2$  :

La différence d'exposition EV correspondante :

---

1. Voir la démonstration de ce résultat dans le chapitre "Le Rapport F/D"

$$\Delta EV = 2 \log_2(N_2/N_1)$$

$$\Delta EV = \log_2(N_2^2/N_1^2)$$

$$\Delta EV = \log_2(E_2/E_1)$$

En photo numérique l'éclairement est directement lié au niveau de gris du pixel capturé par le capteur  $E = k \cdot \text{Pixel}$  donc :

$$\Delta EV = \log_2(\text{Pixel}_2/\text{Pixel}_1)$$

Le rapport d'éclairement  $E = \text{Illuminance}$  de la pellicule ou du capteur photo fonction du rapport d'ouverture  $N$  :

$$\frac{E_2}{E_1} = N_1^2/N_2^2 = 2^{n_1-n_2}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 10^{\log N_1^2/N_2^2}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 10^{\log((N_1/N_2)^2)}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 10^{2 \log(N_1/N_2)}$$

$$\boxed{\frac{E_2}{E_1} = 100^{\log N_1/N_2}}$$

Exemple d'étalonnage des ouvertures d'un objectif

|           |     |     |     |   |     |     |   |     |      |      |      |       |
|-----------|-----|-----|-----|---|-----|-----|---|-----|------|------|------|-------|
| Ouverture | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 2 | 2,8 | 3,5 | 4 | 5,6 | 8    | 11   | 16   | 22    |
| Intensité | 3   | 2   | 1¼  | 1 | ½   | ⅓   | ¼ | ⅛   | 1/16 | 1/32 | 1/64 | 1/128 |

Credit : [Canon AV-1 Manual](#)

On remarque que le passage de l'ouverture  $N=2$  à  $N=1.8$  correspond à un gain de  $G=1.2$  fois plus de lumière, il faut passer à l'ouverture  $N=1.4$  pour avoir un gain de  $G=2$  fois plus de lumière. Le passage de  $N=2$  à  $N=1.2$  correspond à un gain de  $G=2.8$  fois plus seulement il faut passer à  $N=1$  pour avoir un gain de  $G=4$  fois plus.

Le tableau des indices de luminations

## L'album de Steph - Indice de Lumination

| Sensibilité | IL : Indice de Lumination |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|---------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6400 ISO    |                           |    |     | -3  | -2  | -1   | 0    | 1    | 2     | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     |
| 3200 ISO    |                           |    | -3  | -2  | -1  | 0    | 1    | 2    | 3     | 4     | 5     | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
| 1600 ISO    |                           | -3 | -2  | -1  | 0   | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     |
| 800 ISO     | -3                        | -2 | -1  | 0   | 1   | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     |
| 400 ISO     | -2                        | -1 | 0   | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |
| 200 ISO     | -1                        | 0  | 1   | 2   | 3   | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     |
| 100 ISO     | 0                         | 1  | 2   | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8     | 9     | 10    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     |        |
| f:1,4       | 2                         | 1  | 1/2 | 1/4 | 1/8 | 1/15 | 1/30 | 1/60 | 1/125 | 1/250 | 1/500 | 1/1000 | 1/2000 | 1/4000 | 1/8000 |        |        |        |
| f:2         | 4                         | 2  | 1   | 1/2 | 1/4 | 1/8  | 1/15 | 1/30 | 1/60  | 1/125 | 1/250 | 1/500  | 1/1000 | 1/2000 | 1/4000 | 1/8000 |        |        |
| f:2,8       | 8                         | 4  | 2   | 1   | 1/2 | 1/4  | 1/8  | 1/15 | 1/30  | 1/60  | 1/125 | 1/250  | 1/500  | 1/1000 | 1/2000 | 1/4000 | 1/8000 |        |
| f:4         | 15                        | 8  | 4   | 2   | 1   | 1/2  | 1/4  | 1/8  | 1/15  | 1/30  | 1/60  | 1/125  | 1/250  | 1/500  | 1/1000 | 1/2000 | 1/4000 | 1/8000 |
| f:5,6       | 30                        | 15 | 8   | 4   | 2   | 1    | 1/2  | 1/4  | 1/8   | 1/15  | 1/30  | 1/60   | 1/125  | 1/250  | 1/500  | 1/1000 | 1/2000 | 1/4000 |
| f:8         |                           | 30 | 15  | 8   | 4   | 2    | 1    | 1/2  | 1/4   | 1/8   | 1/15  | 1/30   | 1/60   | 1/125  | 1/250  | 1/500  | 1/1000 | 1/2000 |
| f:11        |                           |    | 30  | 15  | 8   | 4    | 2    | 1    | 1/2   | 1/4   | 1/8   | 1/15   | 1/30   | 1/60   | 1/125  | 1/250  | 1/500  | 1/1000 |
| f:16        |                           |    |     | 30  | 15  | 8    | 4    | 2    | 1     | 1/2   | 1/4   | 1/8    | 1/15   | 1/30   | 1/60   | 1/125  | 1/250  | 1/500  |
| f:22        |                           |    |     |     | 30  | 15   | 8    | 4    | 2     | 1     | 1/2   | 1/4    | 1/8    | 1/15   | 1/30   | 1/60   | 1/125  | 1/250  |
| Ouverture   | Temps d'exposition (sec.) |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |

Credit : Stéphane Poirier

Note : pour EV = 10 on obtiendra la même photo avec N=1.4, tp=1/500 sec, S = 100 ISO ou avec N=1.4, tp = 1/2000 sec, S = 400 ISO

Exemple d'exposition constante :

Logique des EV

|      |          |           |            |
|------|----------|-----------|------------|
|      | <b>A</b> | <b>SS</b> | <b>ISO</b> |
| -2EV | 2.8      | 1/800     | 100        |
|      | 5.6      | 1/200     | 100        |
|      | <b>A</b> | <b>SS</b> | <b>ISO</b> |
| -2EV | 2.8      | 1/800     | 100        |
|      | 5.6      | 1/800     | 400        |
|      |          |           | +2EV       |

Credit : J.G. Gricourt

### 1.3 Mesures de la lumière

La mesure de la lumière permet à l'automatisme d'un appareil photo de choisir l'ouverture ou le temps de pose adéquat pour prendre la photo.

Il existe 2 types de cellule :

- Spotmètre = “Reflected Light-meter” mesure la lumière réfléchie dans un angle entre 1° et 5° :  $\frac{N^2}{tp} = \frac{LS}{K}$
- Posemètre / Flashmètre = “Incident Light-meter” mesure la lumière incidente dans un angle entre 30° et 50° :  $\frac{N^2}{tp} = \frac{ES}{C}$

Note : On parle aussi de “TTL light meter” = “Through-the-lens metering” pour le spotmètre.

Le spotmètre se trouve en général embarqué sur l’appareil photo qui pointe le sujet et donc la lumière réfléchie et le posemètre est un dispositif de mesure externe à l’appareil photo qui doit être placé au niveau du sujet en direction de la lumière incidente donc en direction de l’appareil photo.

La mesure de la luminance  $L$  = mesure de la lumière réfléchie par la surface en  $cd/m^2$ , est relié à au couple de l’exposition  $(N, tp)$  par la sensibilité ISO  $S$  et une constante de calibration  $K \in [10, 14]$ .

La mesure de l’illuminance = éclairage =  $E$  = mesure de la lumière incidente sur la surface en lux, est relié à au couple de l’exposition  $(N, tp)$  par la sensibilité ISO  $S$  et une constante de calibration  $C \in [240, 400]$ .

### Light Metering Photography



Credit : Dan Zafra

Le spotmètre est généralement intégré dans l’appareil derrière l’objectif qui pointe le sujet. Le spotmètre se base donc sur les tonalités du sujet pour le rendre sous forme d’un gris moyen au moment de la prise de vue, ce qui n’est pas toujours souhaitable dans certains cas particulier, comme un homme habillé en noir qui devra être sous exposé ou un paysage enneigé qui devra être surexposé. Le spotmètre est sensible aux reflets de lumières qui peuvent fausser les mesures et sont usage est difficile lorsque le sujet est en contre-jour. De plus pour l’utiliser plus efficacement il faudrait mesurer la lumière directement sur une carte de gris moyen placée au niveau du sujet.

Méthodes pour obtenir le gris moyen (spotmètre) :

- Carte de gris moyen
- Feuillage

Le posemètre est un appareil externe permettant d'obtenir une mesure plus fiable de la luminosité ambiante ne tenant pas compte de la capacité du sujet à renvoyer ou à absorber la lumière [11]. La boule blanche = lumisphère du posemètre est un diffuseur permettant de mesurer la lumière ambiante sur 180°.

Afin d'utiliser le spotmètre on se place devant le sujet et on vise la sujet, avec le posemètre on se place devant le sujet et on vise l'appareil photo.

Le spotmètre est aussi une mesure indirect de l'albédo des sujets<sup>2</sup>.

Albédo de différentes surfaces

| Surface                   | Albédo (%)  |
|---------------------------|-------------|
| Miroir                    | 1           |
| Neige fraîche soleil bas  | 0.90 - 0.95 |
| Neige fraîche soleil haut | 0.80 - 0.85 |
| Planète Vénus             | 0.77 (*)    |
| Nuage épais               | 0.70 - 0.80 |
| Glace                     | 0.60        |
| Eau soleil couchant       | 0.50 - 0.80 |
| Vieille neige             | 0.50 - 0.60 |
| Calcaire                  | 0.40        |
| Feuille blanche           | 0.40        |
| Planète Jupiter / Saturne | 0.34 (*)    |
| Planète Terre             | 0.31 (*)    |
| Tuile rouge               | 0.30 - 0.35 |
| Nuage mince               | 0.25 - 0.50 |
| Sable                     | 0.20 - 0.30 |
| Culture, Herbe            | 0.20 - 0.25 |
| Goudron, Zone urbaine     | 0.15 - 0.25 |
| Terre sèche               | 0.15 - 0.25 |
| Terre humide              | 0.10        |
| Lune                      | 0.11        |
| Charbon                   | 0.05        |
| Forêt                     | 0.05 - 0.10 |
| Eau soleil au zénith      | 0.03 - 0.05 |
| Corps noir (à 0K)         | 0           |

*Note : voir Albédo de Bond*

## 1.4 L'histogramme

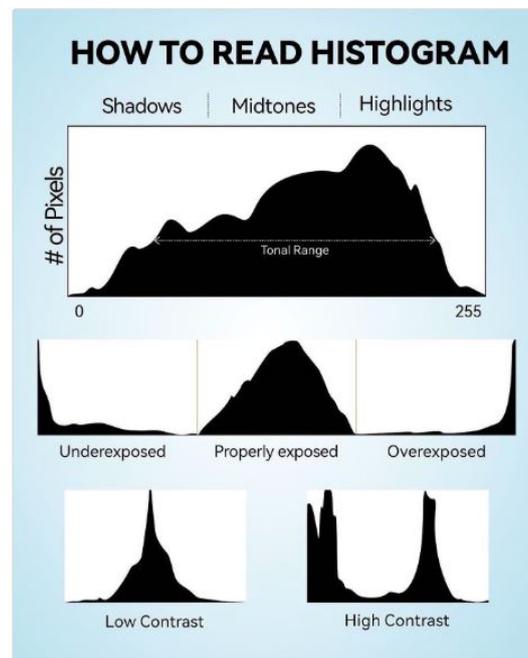
Sur les APN l'histogramme permet de contrôler plus finement l'exposition en affichant le nombre de pixels pour chaque niveau de gris = tonalité, du niveau 0 (noir) au niveau  $2^{14} - 1$  (blanc) si le capteur est sur 14 bits. Un photo parfaitement exposée doit montrer un histogramme réparti de manière homogène sur l'ensemble des niveaux de gris.

2. Ref : <https://planeteviable.org/forçage-radiatif-albedo-gaz-a-effet-de-serre>

Si toutefois l'histogramme est décalé à gauche alors l'image est trop sombre. Le risque ici est de boucher les ombres = beaucoup de pixels à des niveaux de gris faibles (proche du noir). Il est possible de déboucher les ombres en décalant les niveaux à droite des niveaux en post traitement. Cependant les détails initialement perdus dans les ombres ne peuvent être récupérés.

Si toutefois l'histogramme est décalé à droite alors l'image est trop claire, manquant de contraste. Le risque ici est de cramer les blancs = beaucoup de pixels au niveau maximum de  $2^{14}$  il est possible de diminuer la clarté de l'image en décalant les niveaux à gauche en post traitement. Cependant les détails initialement perdus dans les blancs ne peuvent être récupérés.

Enfin sur une image exposée ayant appliqué la technique ETTR à la prise de vue, qui consiste à exposer pour la haute lumière mais en veillant à ne pas cramer les blancs, peut retrouver une exposition correcte en décalant les niveaux à gauche en post traitement.



Credit : K&F

## 1.5 Les ISOs

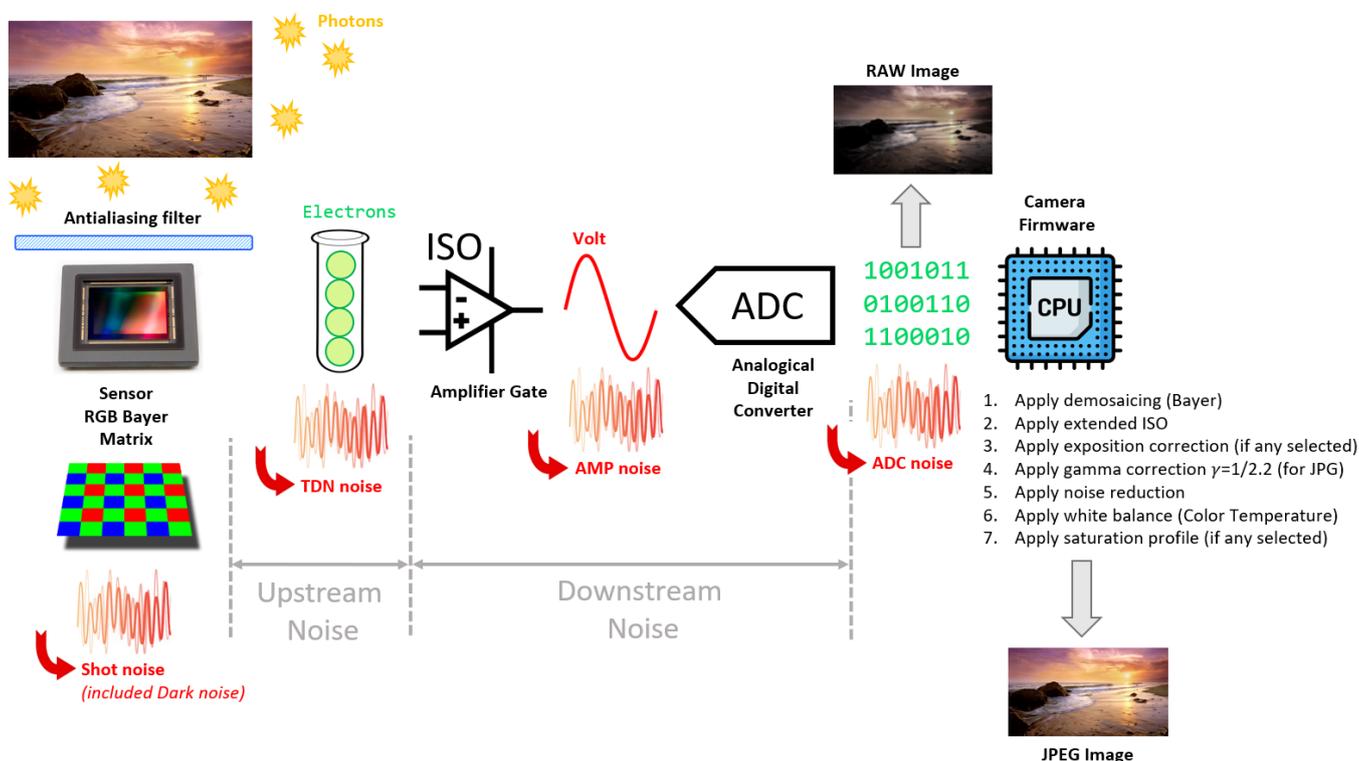
Les ISO indiquent la sensibilité de la pellicule photo ou le gain appliqué au signal dans le cas du capteur numérique. Ici on ne traite que du gain des APN.

Formation du signal analogique puis numérique :

1. Les photons atteignent les photosites du capteur de manière aléatoire (comme les gouttes de pluie)
2. Les photosites sensibles à la lumière convertissent les photons en électrons emmagasinés dans des condensateurs
3. Une fois la l'exposition terminée, les lignes du capteurs sont lues une par une
4. Lors de cette lecture les électrons sont traduits en tension électrique = un voltage = le signal
5. Un gain est appliqué sur le voltage c'est l'ISO dit natif dont l'ISO de base est l'une des valeurs
6. Le voltage est ensuite converti en valeur numérique via l'ADC
7. Le fichier RAW est ensuite formé en sortie de l'ADC
8. Éventuellement un second gain mais numérique cette fois-ci est appliqué par le firmware sur l'image (ISOs étendus)

Deux capteurs différents n'auront pas la même sensibilité c'est à dire la capacité à transformer des photons en électrons mesuré par le rendement quantique QE du capteur donc le signal de départ à la sortie de la lecture du capteur est plus ou moins fort ce qui signifie que l'ISO de base est plus ou moins élevé.

### L'appareil photo numérique



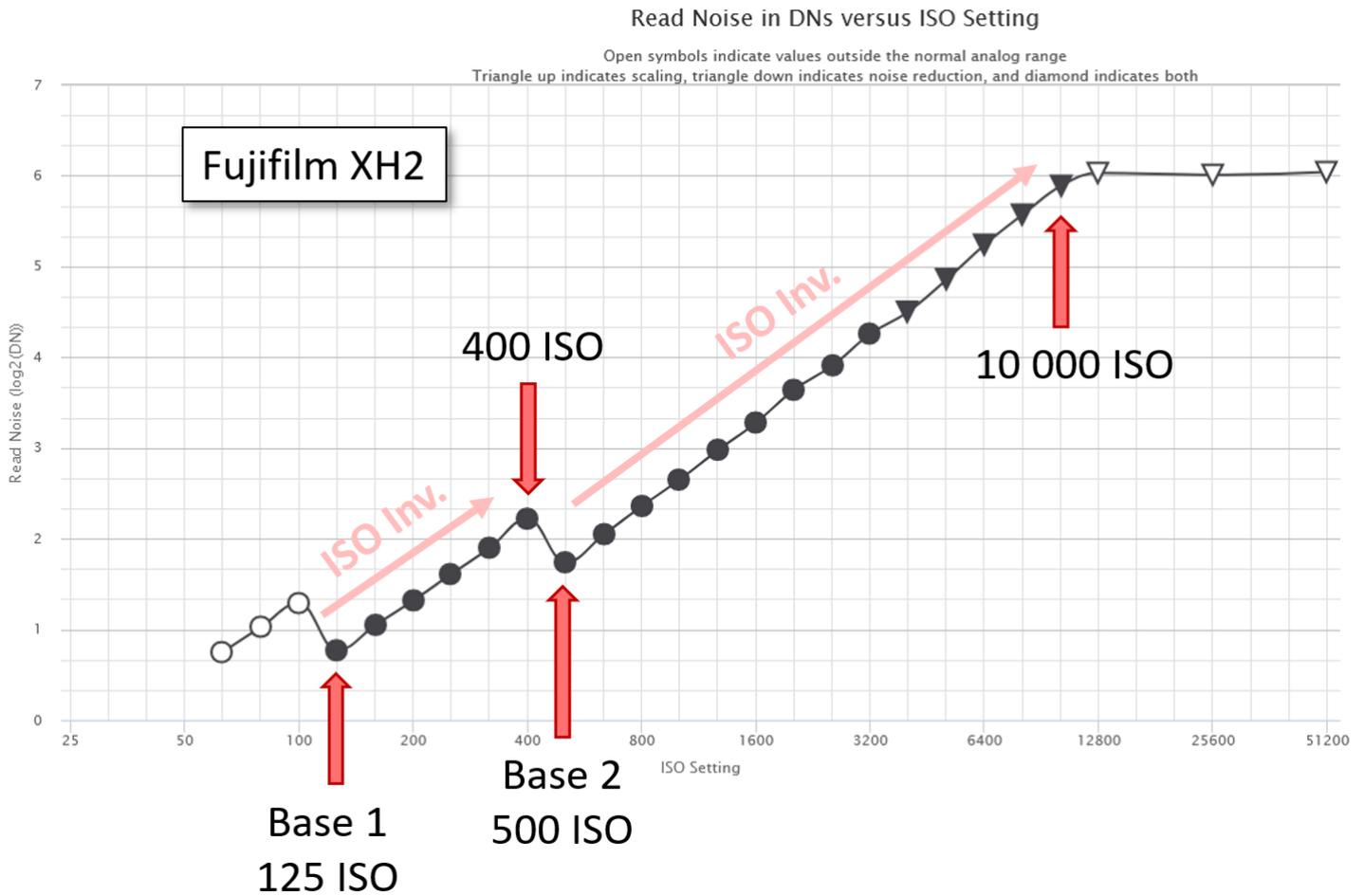
Credit : J.G. Gricourt

Les sources du gain :

- Un amplificateur analogique après le capteur
- Un amplificateur numérique / logiciel (firmware) après la conversion de l'ADC

La plupart du temps les ISO sont un mix des 2 modes. On parle de l'ISO (gain électronique) de base lorsque l'amplification est minimale et des ISO natifs au delà de cette valeur. En général il y a 2 valeurs ISO de bases (voir Dual Gain) et c'est à ces ISO précisément que le bruit de lecture "TDN Noise" est minimum [87] et où il n'y a pas d'amplification.

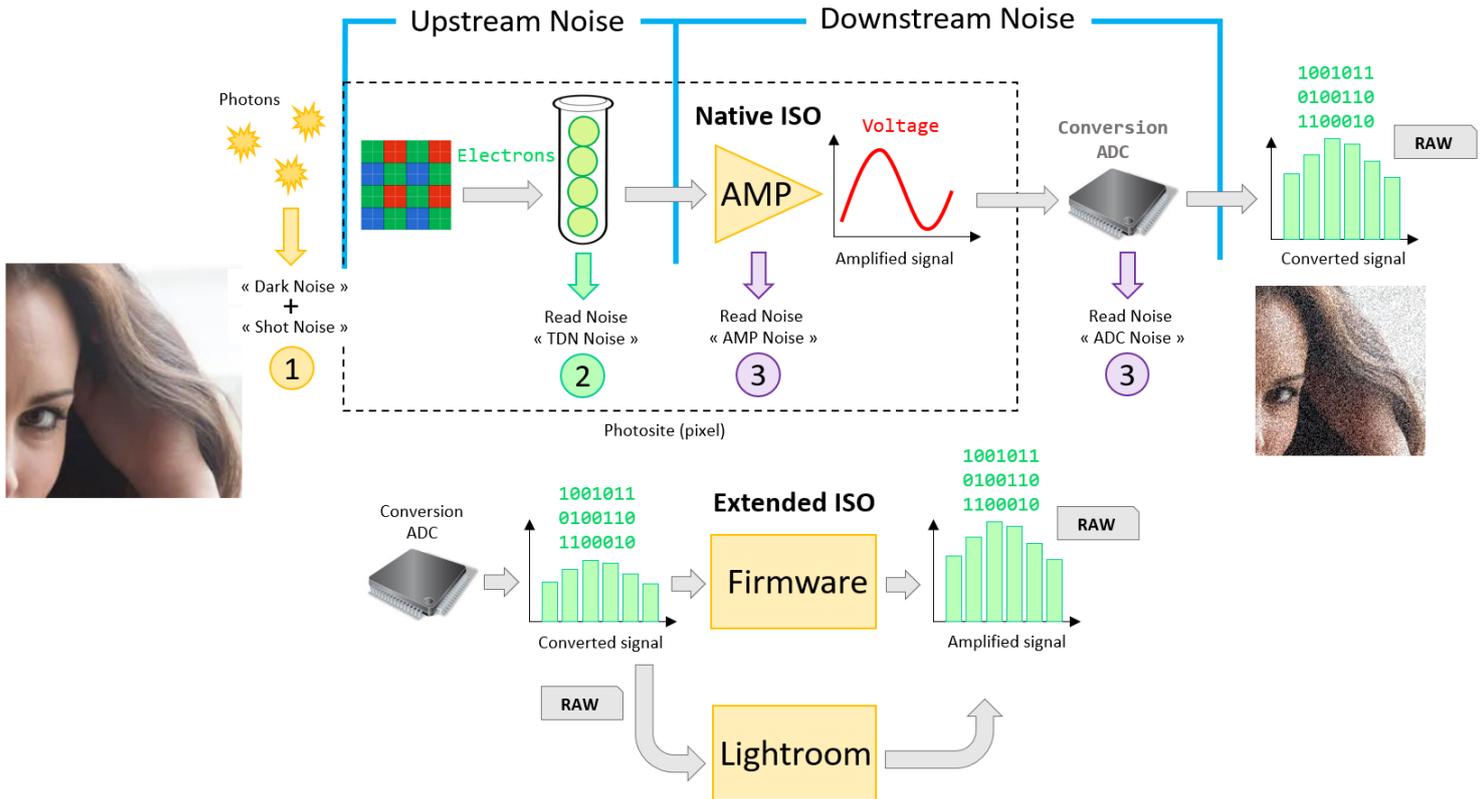
## ISO de base / Read Noise



Credit : [William J. Claff](#).

On voit sur la courbe que le bruit de lecture  $\sigma_{\text{Read TDN}}$  fonction de l'ISO augmente. Le premier ISO de base en général ISO 100 (ISO 160 pour un Fuji X-H2) sert de gain pour la photo d'une scène bien éclairée et le second ISO de base par exemple à ISO 1600 (ISO 500 pour un Fuji X-H2) sert de gain pour la photo d'une scène mal éclairée. Pour les autres ISO appelés étendus, l'amplification est réalisée logicielle par le firmware de l'APN après la conversion ADC [148]. Les ISO gérés par le firmware sont absent de l'image RAW vu qu'aucune modification logicielle n'intervient dans l'image RAW, par contre les ISO natifs sont bien intégrés dans l'image RAW.

## Les ISOs et le bruit

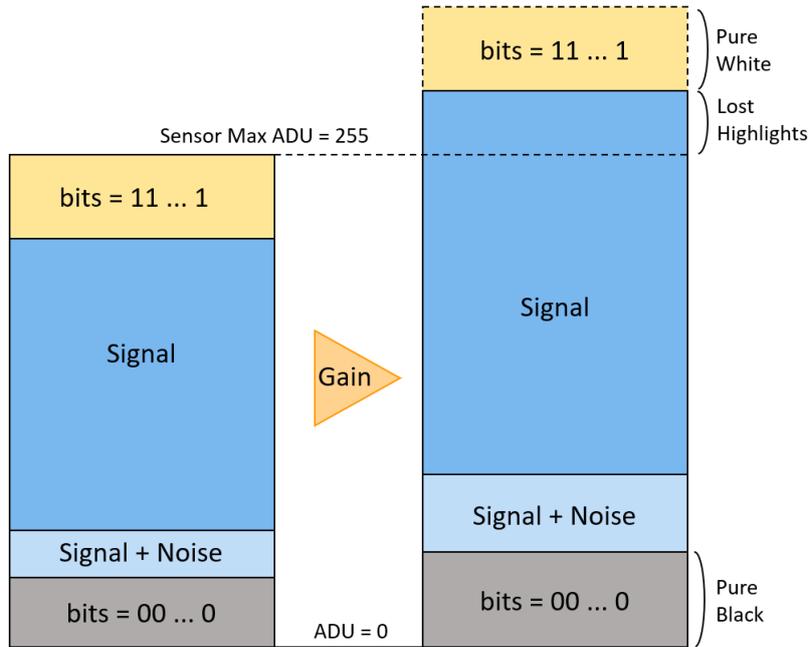


Credit : J.G. Gricourt

Effet de l'augmentation des ISO via le gain analogique à ouverture et temps de pose constantes [41, 76, 12] :

- Augmente la luminosité globale de l'image
- N'augmente pas la quantité de lumière capturée comme l'ouverture  $N$  ou le temps de pose  $t_p$  peuvent le faire
- Amplifie le signal mais aussi les bruits "Shot Noise" et "TDN Noise" acquis avant l'amplificateur
- A exposition constante ( $t_p$ ,  $N$ ) le bruit visible ne change pas
- Diminue la DNR = "Bit Depth" (nombre de bits de dynamique) de l'image car il y a un risque que l'image soit trop lumineuse avec la perte d'info de niveau gris du côté des hautes lumières

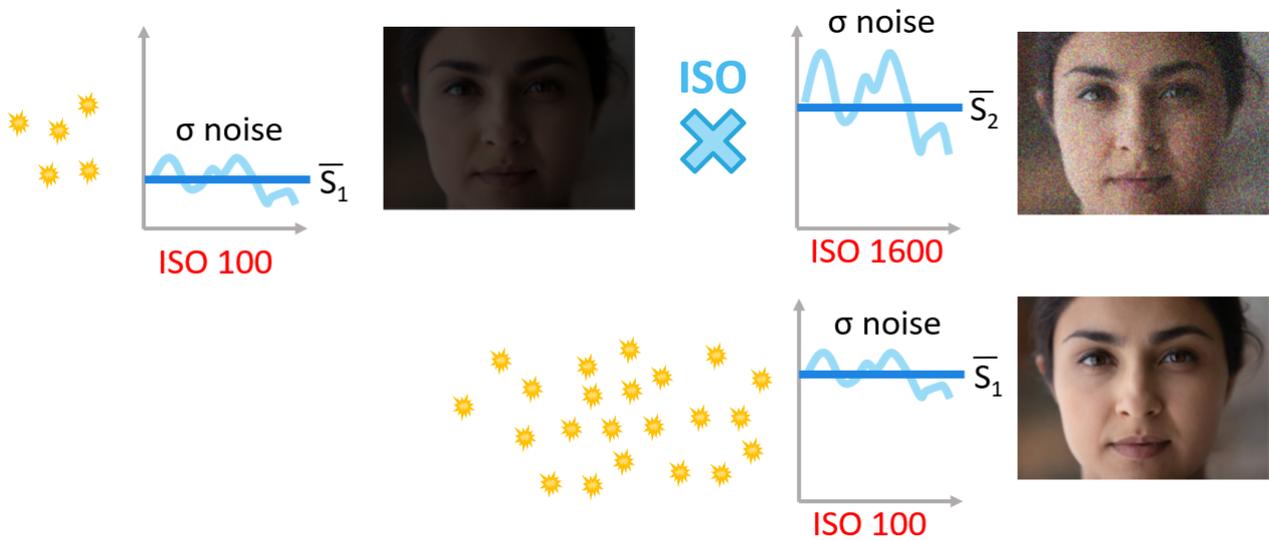
### Effet du gain



Credit : J.G. Gricourt

Les bruits introduits avant le gain : “Shot Noise” et “TDN Noise” deviennent significatifs par rapport au signal en basse lumière dans le cas où l’exposition ( $t_p, N$ ) est encore insuffisante. Dans ce cas le gain ne fera qu’augmenter le signal et les bruits mettant encore plus en évidence le bruit sur l’image.

### Effet de l’augmentation des ISO en mode auto ou semi-auto



Credit : J.G. Gricourt

$$\begin{aligned} \text{SNR}_2 &= \frac{S_2}{\sigma_2} \quad \text{or} \quad S_2 = kS_1 \\ \text{SNR}_2 &= \frac{kS_1}{\sqrt{k}\sigma_1} \\ \text{SNR}_2 &= \sqrt{k} \frac{S_1}{\sigma_1} \\ \text{SNR}_2 &= \sqrt{k} \times \text{SNR}_1 \end{aligned}$$

Cas d'exposition ( $t_p$ ,  $N$ ) insuffisante produisant un signal trop faible par rapport aux bruits :

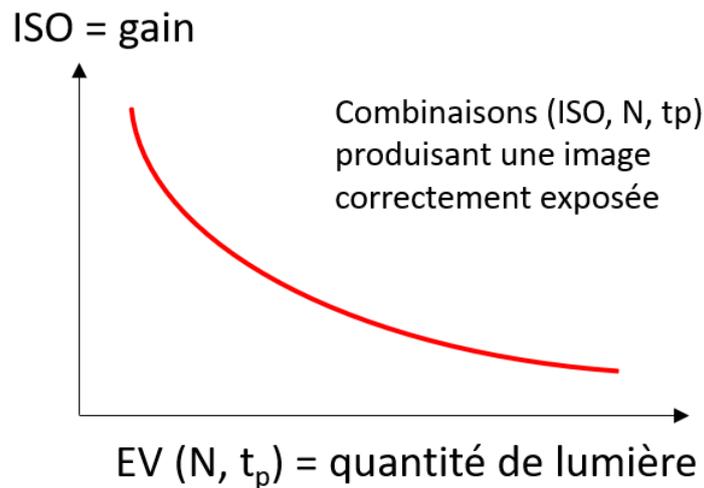
- En mode manuel à l'ISO de base alors que l'ouverture  $N$  maximale est atteinte (limite de l'objectif) et le temps de pose déjà figé
- En cas de sous-exposition ( $t_p$ ,  $N$ ) en mode auto ou semi-auto où un ISO élevé est choisi alors l'automatisme de l'APN diminuera l'ouverture ou le temps de pose afin de réduire la lumière entrante pour éviter d'obtenir une image trop lumineuse.

*Note : dans ces 2 cas la photo produite suffisamment lumineuse (en apparence correctement exposée) mais avec du bruit car l'exposition = quantité de lumière est trop faible*

On doit monter les ISO pour une seule raison lorsque la lumière entrante est déjà maximale mais pas suffisante pour l'exposition souhaitée :

- La luminosité de la scène est insuffisante : photo nocturne, photo en intérieur, temps couvert ...
- Le temps de pose  $t_p$  doit être le plus court possible pour figer le mouvement
- L'ouverture doit être la plus petite possible pour maximiser la profondeur de champ

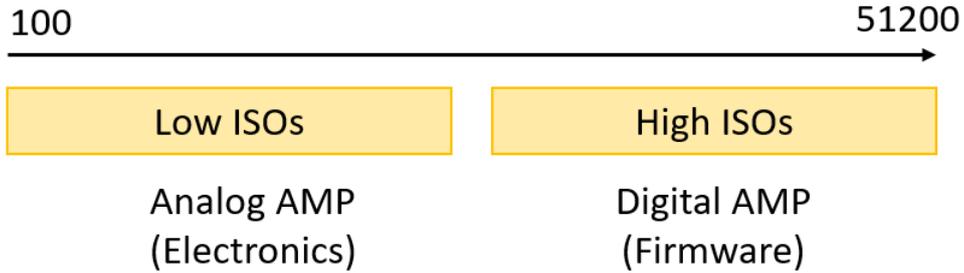
Exposition et ISO



Credit : J.G. Gricourt

Les ISO étendus sont de faux ISO car ils correspondent à des ISO simulés logiciellement par le firmware.

## Plages ISO



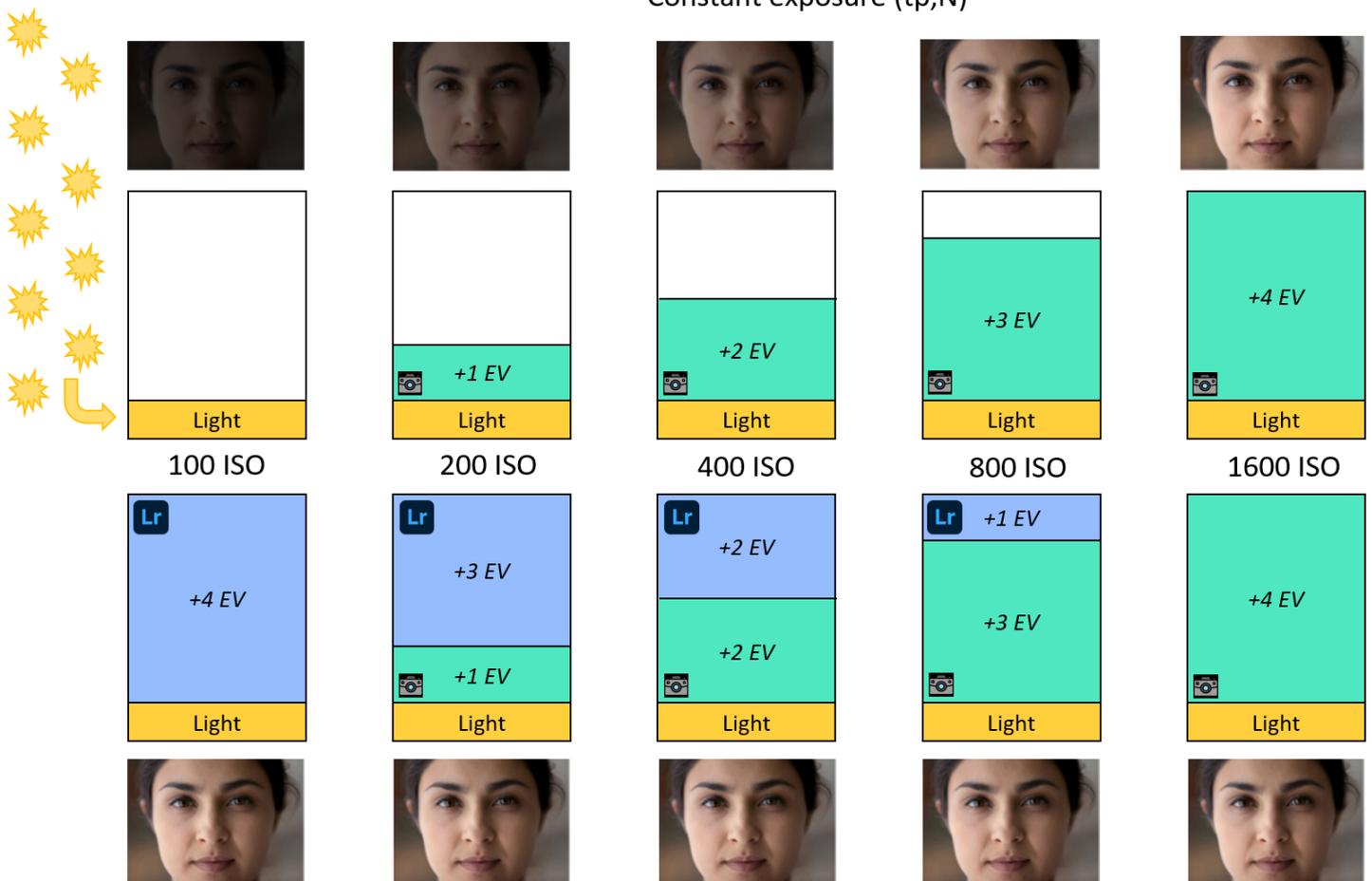
Credit : J.G. Gricourt

Voir aussi le chapitre sur l'influence du bruit de lecture avec les ISO.

**ISO Invariance** Les APN ayant cette caractéristique montrent que la montée ISO est équivalente à l'augmentation de l'exposition en post traitement (ex : DXO PhotoLab). Donc une photo prise à 100 ISO (ISO de base) et corrigé de +4EV = 1600 ISO en post traitement sera aussi bruitée que la même photo prise à 1600 ISO directement sur le boîtier [43, 74].

On peut ainsi sous exposer une image en laissant l'ISO bas et corriger l'exposition en post traitement avec Lightroom sans incidence sur la qualité de l'image par rapport à la même image prise à un ISO plus élevé. Les APN non ISO invariants sur certaines plages d'ISO montreront plus de bruit dans l'image après avoir corrigé l'exposition en post traitement par rapport à la même image prise d'emblée à un ISO plus élevé et cela dans les mêmes conditions d'exposition (tp, N).

### Constant exposure (tp,N)



Credit : J.G. Gricourt

Note : en vert le gain ISO de l'APN, en bleu le gain appliqué par Lightroom en réhaussant l'exposition

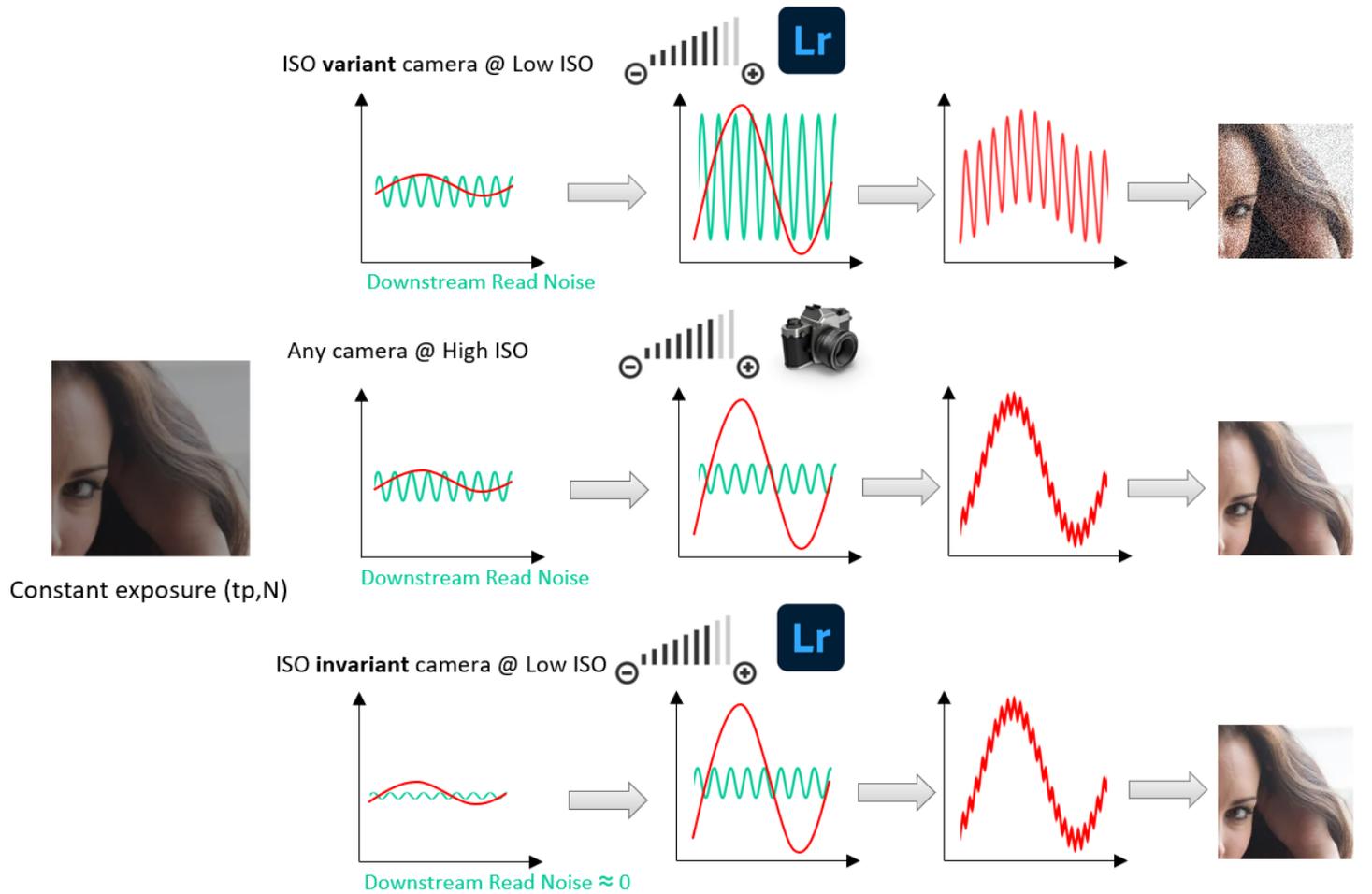
Dans une plage d'invariance, par exemple ici de 100 à 1600 ISO, le bruit dans l'image est le même. En général dans une plage complète d'ISO il existe 2 ISOs de base délimitant sous plage où le bruit sera le même. Enfin le "Bit Depth" (nombre de bits de dynamique) sera plus élevé si on prend le cliché à bas ISO plutôt que de le prendre à un ISO plus élevé, on relevera alors le niveau de luminosité dans Lightroom tout en bénéficiant d'une large plage dynamique.

L'ISO invariance permet de faire de l'astrophotographie en exposant à bas ISO afin de pouvoir remonter les niveaux en post-traitement de manière intelligente et pas globale (traitement différent entre les étoiles les nébuleuses).

L'ISO Invariance à avoir avec le bruit de lecture "Downstream Noise" de l'APN qui est très faible à bas ISO dans ce cas de figure [76]. Les APN ISO invariant sont capables de prendre des photos sombres (scène difficiles) à bas ISO en produisant peu de bruit de lecture sur l'image.

Cette technique est importante dans une scène où la DNR est très étendue donc où il y a des parties très sombres et des parties ultra-lumineuses qu'il ne faut surtout pas sur-exposer (brûler les hautes lumières). Dans ce cas on utilisera la technique ETTR pour préserver les hautes lumières et on débouchera les ombres = "Low light signal" en post-traitement. Par exemple lors des photos de concert il peut être intéressant de sous-exposer de 1 ou 2 EV afin de ne pas risquer de brûler les hautes lumières en cas d'éclairage changeant et de rattraper l'exposition en post-traitement.

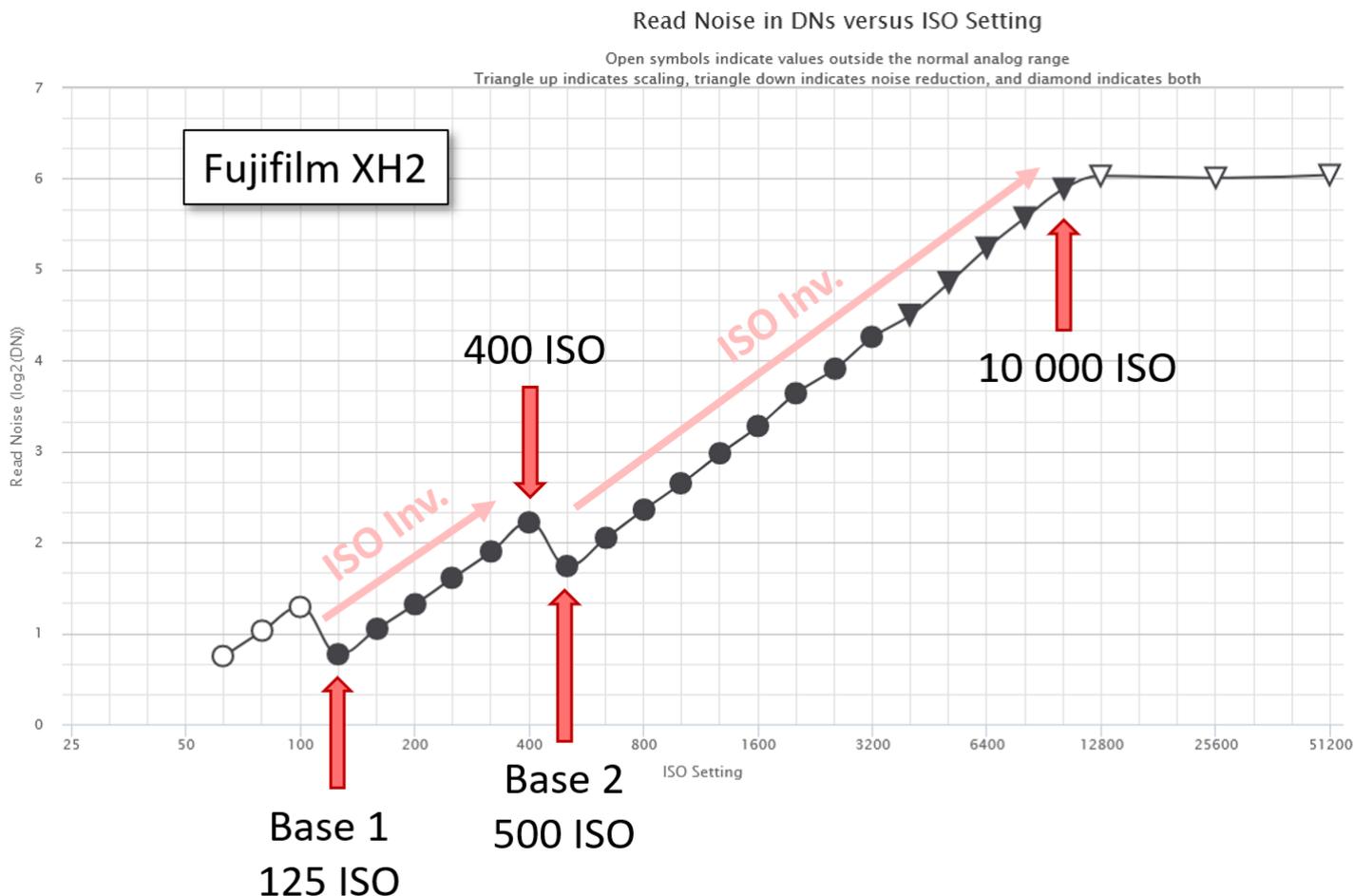
Signal (red) vs noise floor (green) in Low light scenario



Credit : J.G. Gricourt

Dans le graphe ci-dessous on représente le bruit de lecture  $\sigma_{\text{Read TDN}}$  où le gain de l'ISO est appliqué. Les zones d'ISO invariance sont les parties rectilignes de la courbe.

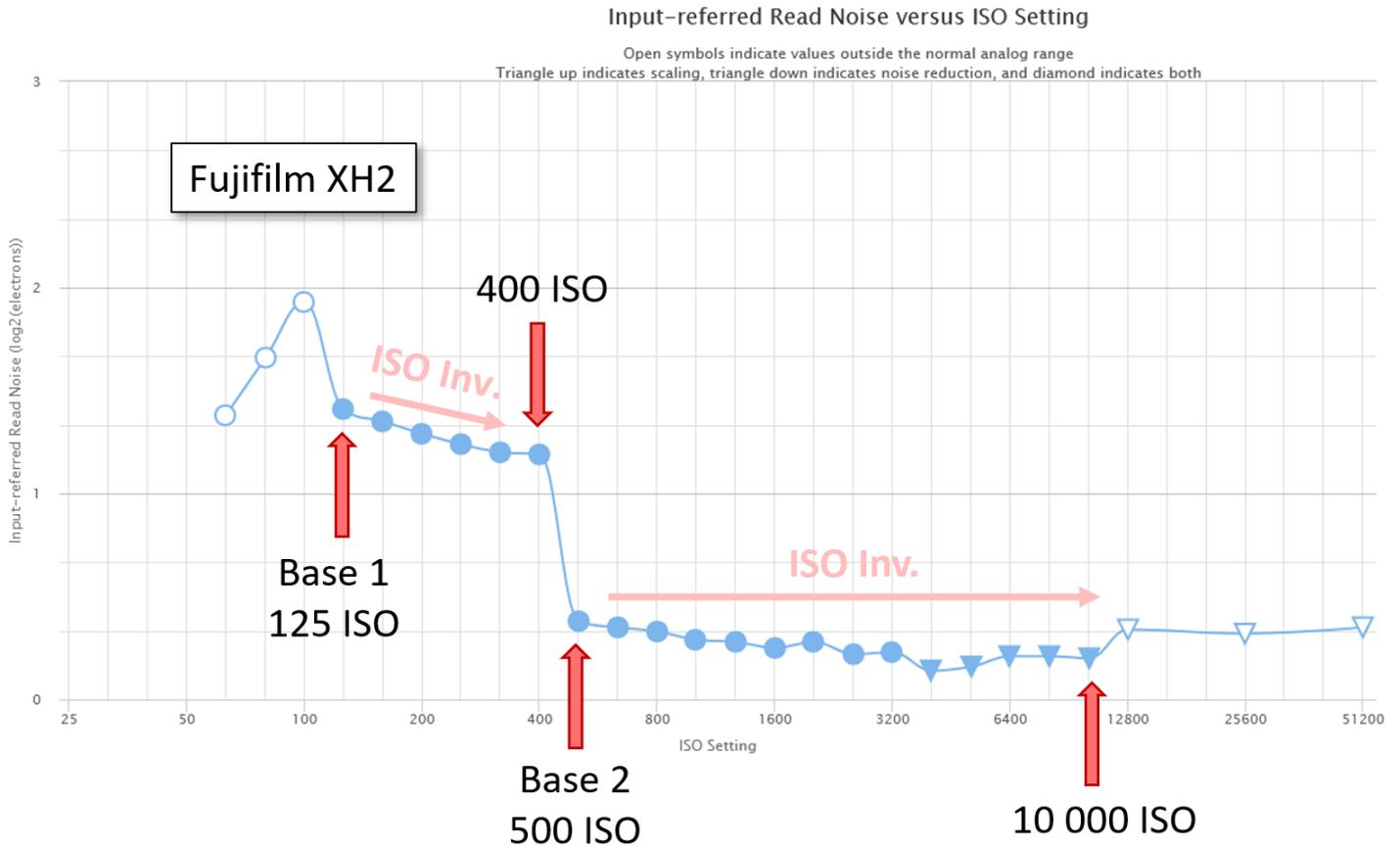
Fujifilm XH-2 : ISO de base / Read Noise



Credit : [William J. Claff](#).

Dans le graphe ci-dessous on représente le bruit de lecture “Input Referred Read Noise” =  $\sigma_{\text{IRN}}$  le bruit de lecture TDN pour lequel le gain de l'ISO n'a pas encore été appliqué, on voit que le bruit de lecture diminue un peu mais reste relativement plat ensuite :  $\sigma_{\text{Read TDN}} = \sigma_{\text{IRN}} \times \text{Gain}_{\text{iso}}$ . Donc globalement le bruit de lecture  $\sigma_{\text{IRN}}$  reste inchangé avec les ISO dans les zones d'invariance. Les zones d'ISO invariance sont les parties plates (ou presque) de la courbe.

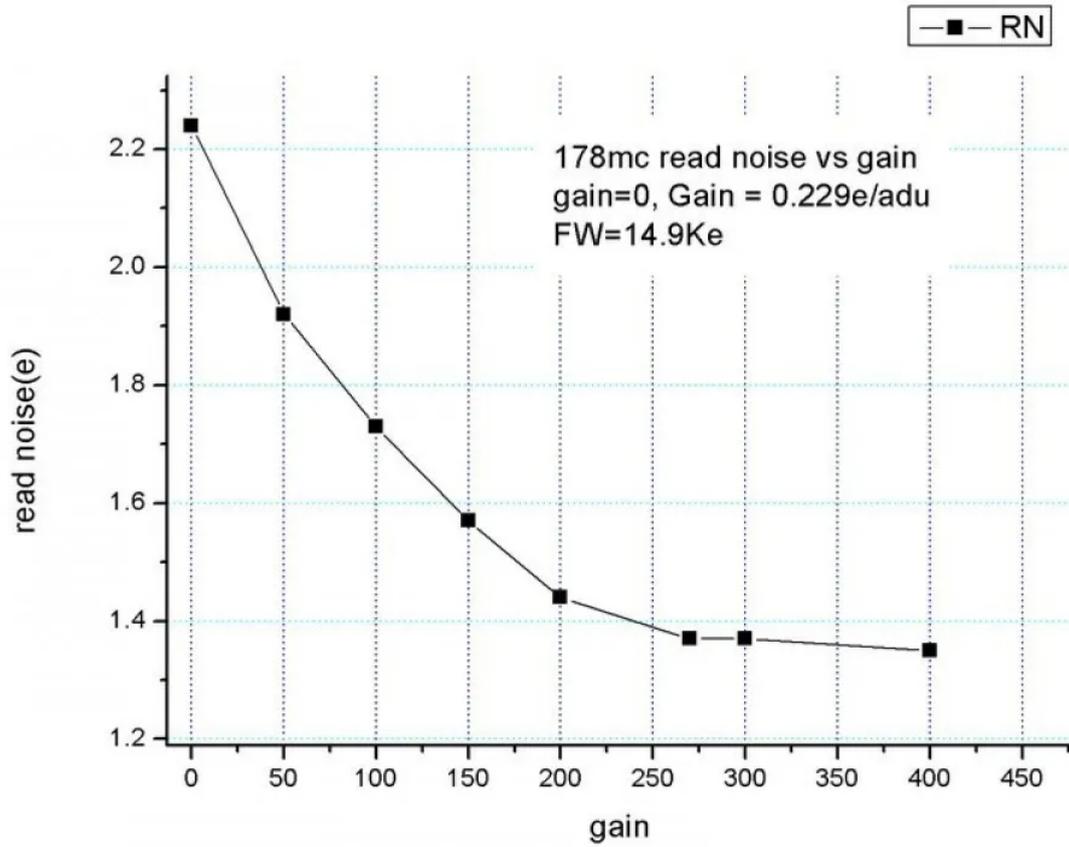
## Fujifilm XH-2 : Input-referred Read Noise versus ISO Setting



Credit : William J. Claff.

Si il existe un “Dual ISO” dans l’APN alors il y a bien 2 plages de ISOs où l’APN est ISO invariante [42]. De plus il n’y a pas d’intérêt supplémentaire (sauf en cas du franchissement d’une plage à une autre en cas de “Dual ISO”) en terme de bruit de monter les ISO dans la même plage d’ISO invariance, la récupération de l’exposition en post traitement (ex : DXO PhotoLab) sera identique.

Dans le graphe ci-dessous on représente le bruit de lecture évoluant en fonction du gain (ISO) d’une camera dédiée à l’astrophoto.



Credit : ZWO Company

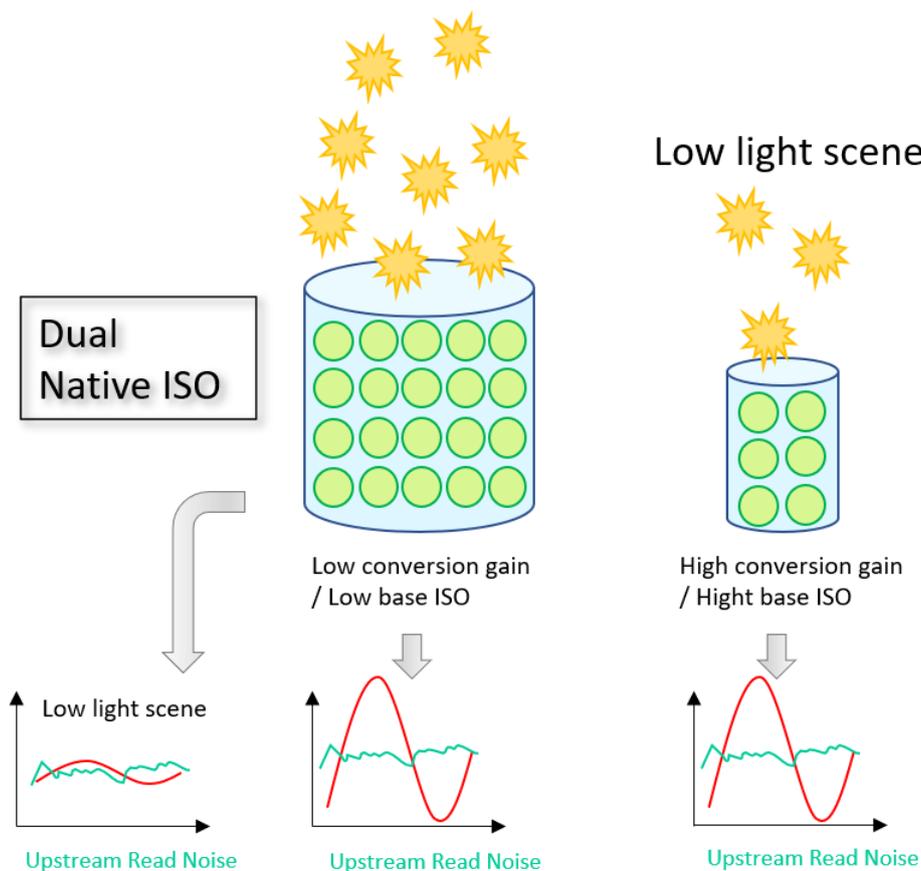
**Dual ISO** Certains APN (Sony) possède un “Dual ISO” c’est à dire une plage d’ISO native pour les scènes bien éclairées et une plage d’ISO pour les scènes mal éclairées.

Dual ISO

| Type          | Well electrons | DNR | Bruit |
|---------------|----------------|-----|-------|
| High base ISO | ↘              | ↘   | ↘     |
| Low base ISO  | ↗              | ↗   | ↗     |

Credit : J.G. Gricourt

## High light scene



Credit : J.G. Gricourt

Une conséquence est qu'une scène mal éclairée enregistrée à ISO 100 montrera plus de bruit mais une meilleure DNR que si elle avait été enregistrée à l'ISO de la seconde plage du mode "Dual ISO".

Comparaison de la montée en ISO des APN : [Studio shot comparison - DPReview](#)

## 1.6 La compensation d'exposition

Il s'agit d'un moyen d'augmenter ou de réduire de 1 ou plusieurs EV l'exposition calculée par l'APN d'après la mesure de la lumière. L'APN jouera sur le temps de pose  $t_p$  si le mode semi-automatique sélectionné était "Priorité Ouverture" ou sur l'ouverture  $N$  si le mode semi-automatique sélectionné était "Priorité Vitesse" pour doubler la lumière entrante si on avait indiqué une compensation de +1EV ou bien diviser par 2 la lumière entrante si on avait indiqué une compensation de -1EV. Cette fonction est très différente de l'ISO même si l'effet produit semble en apparence équivalent. La compensation permet de déroger à la règle de détermination du gris moyen de l'exposition calculée par l'APN. La compensation permet

- Aux zones blanches de la scène de ne pas être rendues en gris moyen mais bien en blanc, ex : neige
- Éclaircir un sujet en contre-jour
- Un vitrail d'une église pour assombrir (noircir) le mur autour

Avec un Fujifilm X-H2 (peut être similaire avec une autre marque)

- Mode priorité ouverture A et ISO fixé à une valeur constante : la compensation change la valeur de la vitesse SS
- Mode priorité vitesse SS et ISO fixé à une valeur constante : la compensation change la valeur de l'ouverture A dans la limite de l'ouverture maximum de l'objectif
- Mode priorité ouverture A ou vitesse SS et ISO à Auto : la compensation change la valeur de l'ISO dans la limite permise par la plage d'Auto ISO

La compensation n'a en revanche aucun effet en mode manuel.

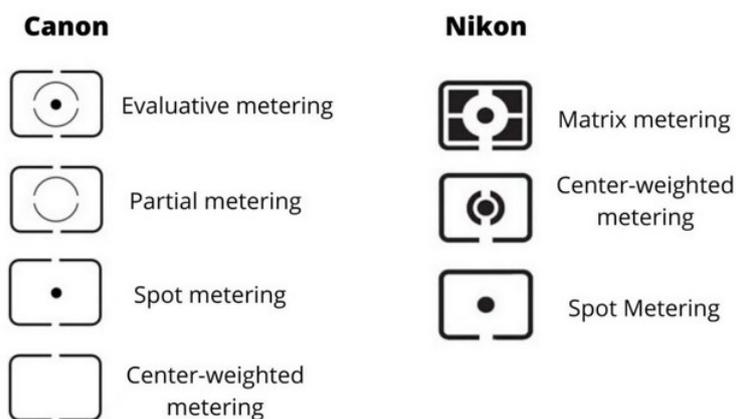
## 1.7 Mesure de l'exposition

Les appareils possédant une ou plusieurs cellule de type spotmètre = "Light Meter" permettent de mesurer la lumière réfléchie par le sujet ou la scène photographiée. Cette mesure sert ensuite pour figer le couple (N,tp) avant de déclencher.

Avec les appareils modernes la mesure peut se faire selon plusieurs modes [65] :

- "Multi Mode" = "Matrix Metering" = "Evaluative Metering" = "Multi-Segment Metering" : le logiciel du boîtier divise la scène en plusieurs zones afin de faire la mesure et de déduire une valeur d'exposition globale, chaque zone est pondérée selon leur importance pour la photo
- "Spot Metering" : le logiciel du boîtier se concentre sur le centre de la scène (environ 2%) pour faire la mesure
- "Average" : il s'agit du principe de découpage du "Multi Mode" mais en appliquant une pondération égale sur toutes les zones, ce mode est surtout utilisé pour obtenir des résultats d'exposition identique entre 2 prises de vue alors que le sujet a bougé.
- "Center-Weighted" : il s'agit du principe de découpage du "Multi Mode", mais en appliquant une pondération plus importante au centre du champ là où le sujet devrait se trouver.
- "Partial Metering" = "Linking Spot Metering and AF" = : il s'agit du "Spot Metering" mais cette fois-ci mesuré autour du point de focus actif et non au centre par défaut

### Metering Modes



Credit : [Arvind - Phodus](#)

Les boîtiers plus anciens produits de 1960 à 1990 utilisent principalement le mode "Center Weighted".

## 1.8 La Photométrie

La photométrie est la discipline qui étudie les rayonnements du point de vue de la perception humaine. La radiométrie est une discipline similaire qui étudie les rayonnements du point de vue énergétique. Les unités utilisées en photométrie peuvent être converties directement dans les unités SI usuelles. Ici seuls les rayonnements visibles sont pris en compte.

$\Phi$  : le flux lumineux émit par une source ponctuelle dans toute les directions, unité = Lumen

$\mathbf{I} = \frac{d\Phi}{\Omega}$  : l'intensité lumineuse d'une source est le flux lumineux émit dans une direction particulière et traversant un angle solide  $\Omega$ , unité = Candela

$\mathbf{E} = \frac{d\Phi}{dS}$  : l'éclairement ou illuminance d'une surface éclairée par une source, unité = Lux = Lumen /  $m^2$  = candela . sr /  $m^2$

$\mathbf{L} = \frac{I}{dS}$  : la luminance est l'intensité lumineuse ré-émise par une surface éclairée rapporté à sa surface, unité = candela /  $m^2$ , c'est communément la luminosité perçue à l'oeil nu.

$\mathbf{M} = \frac{d\Phi}{dS}$  : l'émittance ou exitance M d'une surface est le flux lumineux émit par une source et ce par unité de surface, unité = Lumen /  $m^2$

Lorsque la source de lumière n'est pas à la verticale  $\alpha = 0$  alors :

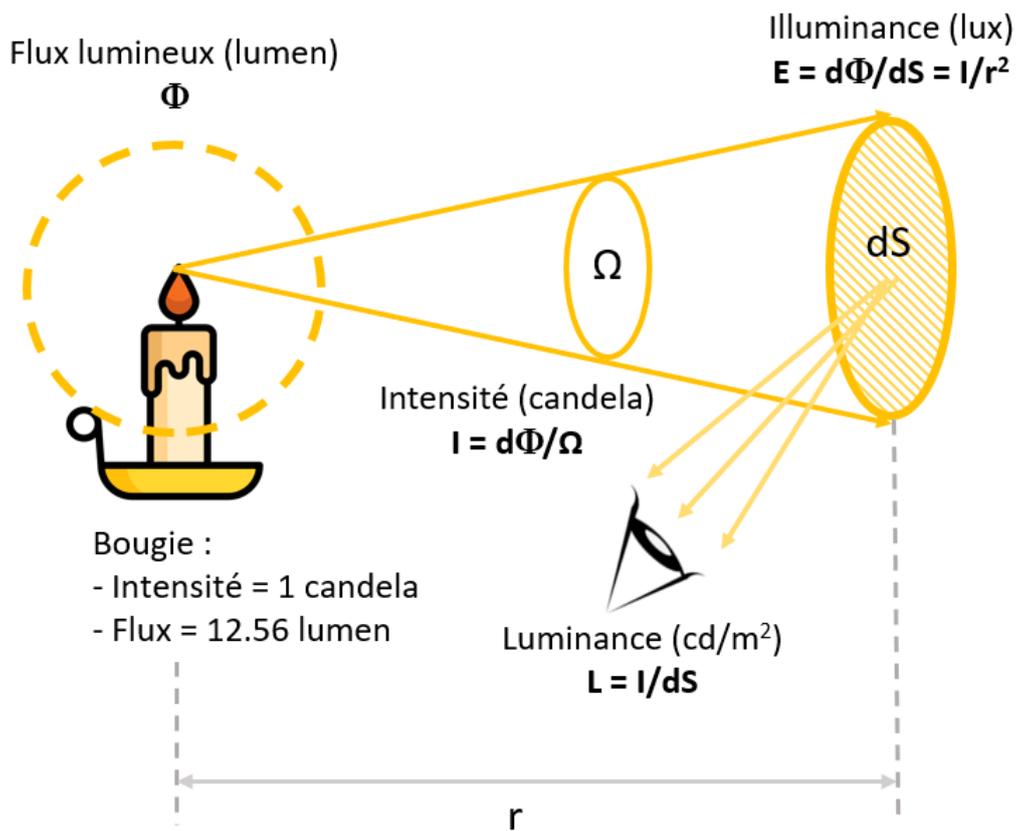
— L'illuminance (lumière incidente) s'écrit :  $E = E_{(\alpha=0)} \cos\alpha$

— La luminance (lumière réfléchie) s'écrit :  $L = \frac{L_{(\alpha=0)}}{\cos\alpha}$

Dans le cas d'une source lumineuse isotrope, le lien entre l'illuminance E d'une surface et sa luminance L renvoyée :  $L = \frac{\rho E}{\pi}$  où  $\rho$  est la réflectance de la surface.

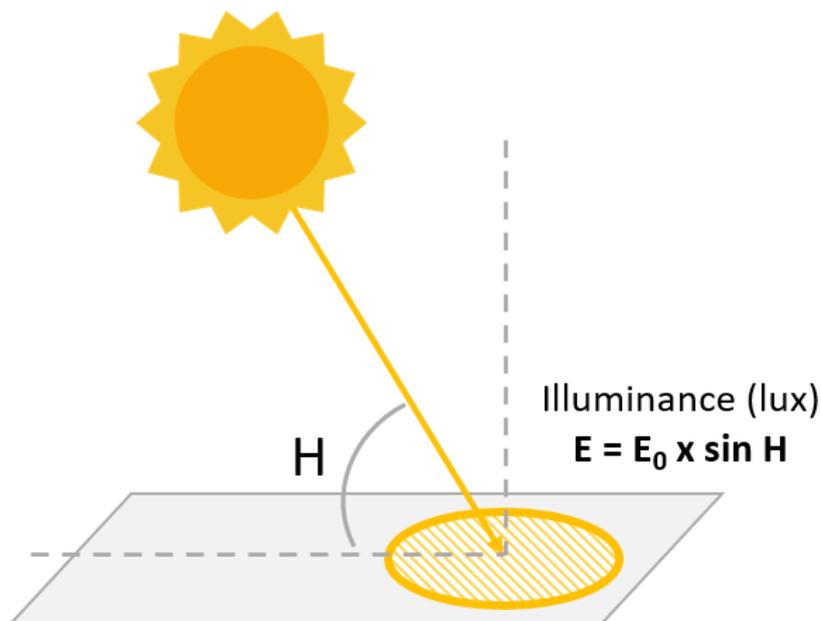
En photo diurne, la luminance mesurée par le "Spot Meter" qui prend en compte la lumière ré-émise par les objets, l'illuminance mesurée par le "Incidence Meter" prend en compte la lumière incidente provenant des sources de lumière. La mesure du "Spot Meter" varie beaucoup selon la texture et la couleur de l'objet mesuré, la mesure du "Incidence Meter" est plus constante car elle ne dépend pas de l'objet visé en revanche sa mesure peut varier selon la température de couleur de la lumière incidente.

A l'origine 1 candela est l'intensité lumineuse émise par une bougie. Un source émettant 1 candela émet un flux lumineux total de  $\Phi = 1 \times \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi = 12.56$  lumen dans toutes les directions.



Credit : J.G. Gricourt

Le soleil est une source de lumière qui peut être considérée comme une source ponctuelle, son illuminance au plus haut dans le ciel vu depuis le sol terrestre, c'est à dire à la verticale est de  $E_{\max} = 129\,000 \text{ lx}$  [119] et selon sa hauteur  $H$  dans le ciel en degré :  $E = E_{\max} \sin H$ .



Credit : J.G. Gricourt

Sans tenir compte des conditions atmosphériques on obtient la hauteur du soleil supposée à la verticale à midi selon différentes

perte d'exposition standards en photo :  $\sin H = 2^{\Delta EV}$  :

Perte d'exposition selon la hauteur du soleil par rapport à  $90^\circ \Leftrightarrow 0EV$

| Perte d'exposition | Hauteur du soleil, $H_{\max} = 90^\circ$ |
|--------------------|--|
| -0.11 EV           | $68^\circ$ (solstice d'été à Lyon)       |
| -0.5 EV            | $45^\circ$                               |
| -1 EV              | $30^\circ$                               |
| -1.48 EV           | $21^\circ$ (solstice d'hiver à Lyon)     |
| -2 EV              | $15^\circ$                               |
| -3 EV              | $7^\circ$                                |
| -4 EV              | $4^\circ$                                |
| -5 EV              | $2^\circ$                                |

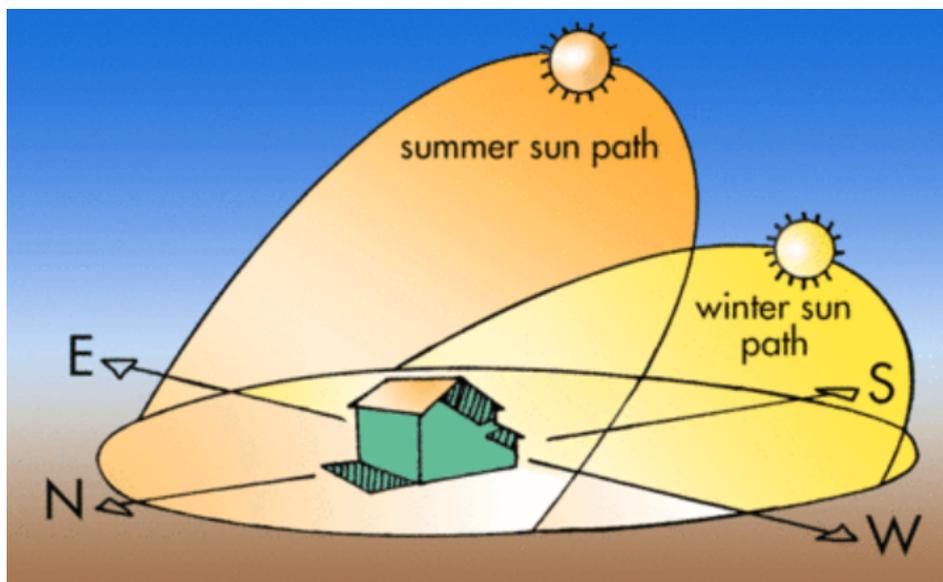
Note :  $H(^{\circ}) = 57.3 \times \arcsin(2^{\Delta EV})$

Donc on perd au moins 1 EV d'exposition dès que le soleil descend en dessous de  $30^\circ$ .

La hauteur du soleil dépend de la latitude  $\phi$  du lieu, par exemple Lyon est à  $45.5$  degré de latitude nord, la hauteur du soleil :  $H = 90^\circ - \phi + \delta$  où  $\delta$  est la déclinaison du soleil.

- Au solstice d'été le soleil à midi est le plus haut de l'année dans le ciel alors  $\delta = -23.44^\circ$  donc :  $H_{\max} = 68^\circ$
- Au solstice d'hiver le soleil à midi est le plus bas de l'année dans le ciel alors  $\delta = +23.44^\circ$  donc :  $H_{\max} = 21^\circ$

Sun's Path



BuildingGreen

Formule générale selon une hauteur max de  $68^\circ$  à 12h :  $\sin H = 2^{\Delta EV + \Delta EV(68)}$  et une hauteur max de  $21^\circ$  à 12h :  $\sin H = 2^{\Delta EV + \Delta EV(21)}$ .

Perte d'exposition selon la hauteur du soleil à Lyon par rapport à 68° ⇔ 0EV

| Perte d'exposition | Hauteur du soleil en Juin | Hauteur du soleil en Décembre |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 0 EV               | 68°                       | 21°                           |
| -0.5 EV            | 41°                       | 15°                           |
| -1 EV              | 28°                       | 10°                           |
| -2 EV              | 13°                       | 5°                            |
| -3 EV              | 7°                        | 3°                            |
| -4 EV              | 3°                        | 1°                            |
| -5 EV              | 2°                        | 0.6°                          |

Pour une éphéméride complète du soleil : [Sunrise, Sunset, and Daylength](#)

Pour déterminer les hauteurs sur l'année : [Sun Position Calculator](#)

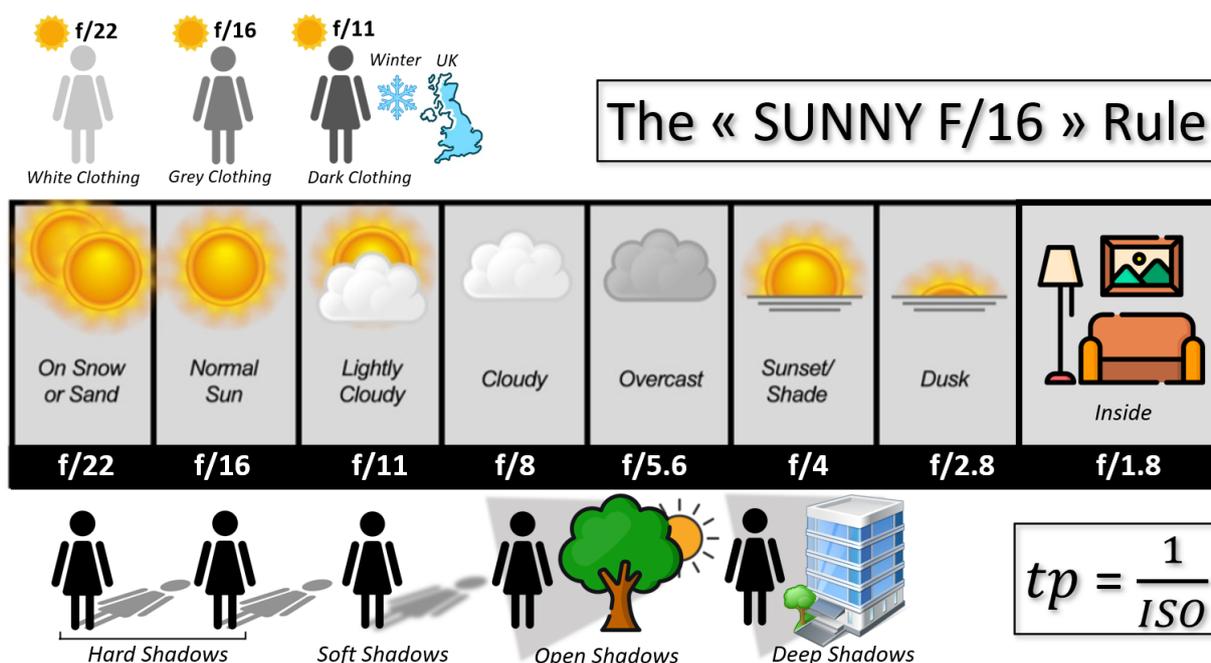
## 1.9 Les Règles et Recettes en photo

**Règle Vitesse (1)** Le temps de pose minimal pour éviter le flou de bouger en fonction de la focale utilisée :  $tp = 1/f$

**Règle Vitesse (2)** Le temps de pose minimal pour obtenir une image piquée en fonction de la focale utilisée :  $tp \geq f$

**Règle Looney 11** Il s'agit d'une règle affirmant que pour exposer correctement la Lune il faut fermer le diaphragme à F/11 et utiliser une vitesse  $tp = 1/ISO$ .

**Règle Sunny 16** Il s'agit d'une règle affirmant que lors d'une belle journée ensoleillée sans nuages, l'exposition sera correcte si l'ouverture est réglée sur F/16 et le temps d'exposition est l'inverse de la sensibilité de la pellicule :  $tp = 1/ISO$ . A l'origine cette règle se base sur une exposition de lumière incidente mesurée par le posemètre externe au lieu de la lumière réfléchie par le sujet mesurée par le spotmètre de l'appareil photo. Donc il est nécessaire de faire les ajustements de correction d'exposition en fonction du sujet photographié.



Credit : [The Sunny f/16 Rule](#) et J.G. Gricourt

### Ouverture selon la météo [9]

| Soleil                             | Ciel                     | Ombre           | Autre                                  | Ouverture | tp    | Stops |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------|--|-----------|-------|-------|
| Soleil plage / eau<br>Soleil neige | Ciel bleu                | Ombres nettes   | -                                      | F/22      | 1/ISO | -1 EV |
| Soleil                             | Ciel bleu                | Ombres nettes   | -                                      | F/16      | 1/ISO | 0 EV  |
| Soleil                             | Ciel légèrement voilé    | Ombres diffuses | -                                      | F/11      | 1/ISO | +1 EV |
| -                                  | Ciel blanc               | -               | -                                      | F/8       | 1/ISO | +2 EV |
| -                                  | Ciel gris clair          | -               | Contre jour<br>Sujet à l'ombre dégagée | F/5.6     | 1/ISO | +3 EV |
| Coucher du soleil                  | Ciel gris foncé pluvieux | -               | Sujet à l'ombre encaissée              | F/4       | 1/ISO | +4 EV |
| Coucher du soleil                  | -                        | -               | Intérieur éclairé                      | F/2.8     | 1/ISO | +5 EV |

Credit : J.G. Gricourt

Les autres réglages se déduisent du réglage initial, par exemple pour obtenir moins de profondeur de champ en partant de F/16 à 100 ISO on ouvre le diaphragme à F/2.8 soit l'ajout de 5 EV donc il faudra utiliser un temps de pose permettant de réduire l'exposition de 5 EV, donc il faudra passer de  $tp = 1/100sec$  à  $tp = 1/3200sec$ .

Roue permettant de déduire les bons réglages basé sur la règle "Sunny 16"



Credit : [The Phoblographer](#)

Compléments :

- Cette règle est valable pour un sujet de ton gris moyen, si le sujet est plus clair on diminue l'exposition de -1 EV et si le sujet est sombre on augmente l'exposition de +1 EV

- En cas de doute sur un réglage il vaut mieux surexposer un peu plus car les films NB et couleurs donneront encore un meilleur rendu [93]
- Le film noir et blanc est plus tolérant vis à vis des erreurs d'exposition
- Une surexposition peu plus facilement se rattraper en post traitement qu'une sous exposition (inverse des caméra digitales)

**Règle Aperture Group** La photo d'un groupe de personne requière une ouverture fonction du nombre de sujets  $n$  :  
 $N \geq n$

**Règle 500 Rule** Afin de photographier la voie lactée sans suivi donc sans monture équatoriale on peut utiliser cette règle afin de déterminer le temps de pose en secondes :  $tp = 500 \times \text{Crop Factor}/\text{Focale}$ , la focale étant exprimée en mm [77].

**Utilité d'un objectif à grande ouverture** On parle de l'ouverture maximum de l'objectif, en général d'ouverture de  $f/1.0$ ,  $f/1.2$ ,  $f/1.4$ ,  $f/1.8$ ,  $f/2.0$  ou  $f/2.8$ .

Les cas d'usage :

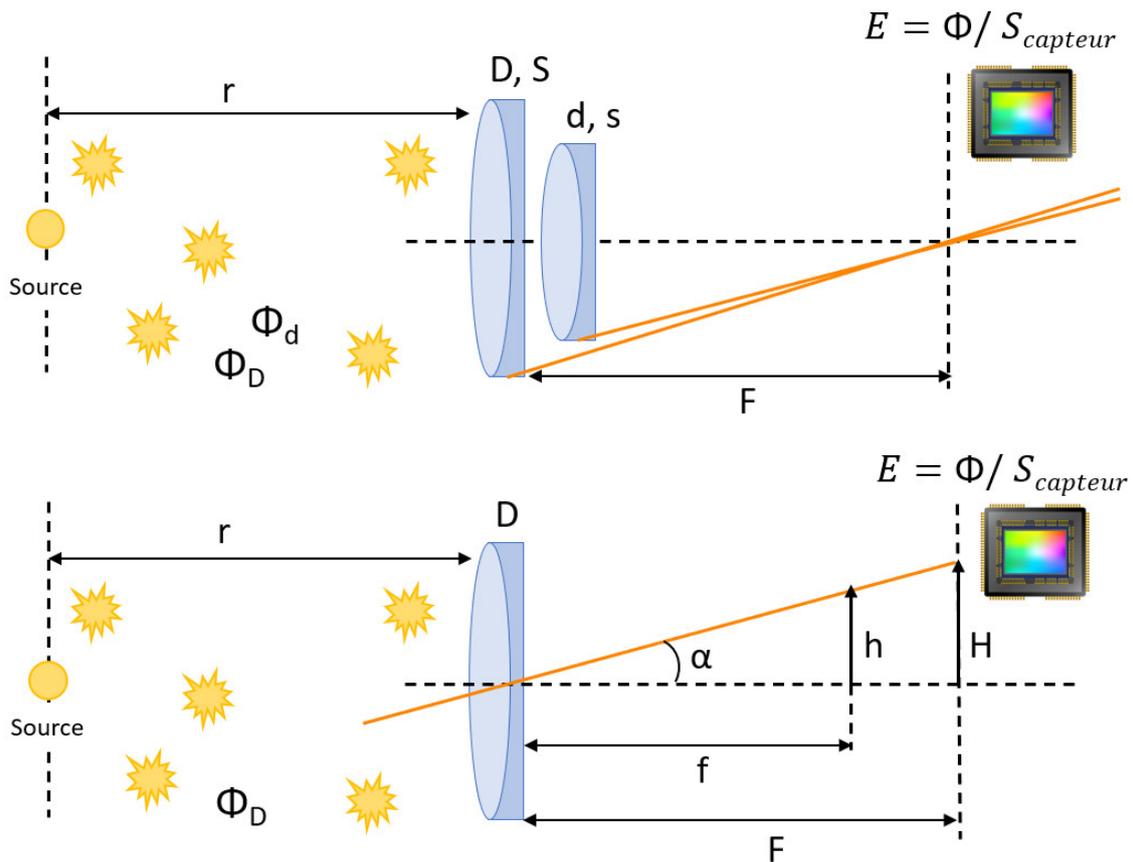
- Photo en fin de journée ou de nuit
- Photo en intérieur
- Rendre les plans avant et arrière flous (bokeh) pour séparer le sujet de son environnement
- Figurer le mouvement à grande vitesse afin de compenser la perte de lumière
- Rendre l'image plus douce, car l'optique est en général moins piquée à grand ouverture

## 1.10 Le Rapport F/D

Le rapport  $F/D$  est le ratio de la focale de l'instrument divisé par son diamètre nommé  $N = F/D$ . Ce ratio est important en photo car plus il est élevé plus faible sera l'éclairement du capteur et plus la photo nécessitera un temps de pose plus long pour garder un exposition correcte.

Un pixel du capteur engrangera  $\Delta Q = 4$  fois plus de lumière à  $N_1 = F/4$  qu'à  $N_2 = F/8$ , de manière générale :  $\Delta Q = (N_2/N_1)^2$ .

## Focal Ratio



Credit : J.G. Gricourt

La surface du capteur est éclairée par la lumière entrant dans l'appareil photo.

Calcul du flux  $\Phi$  fonction du diamètre de l'ouverture  $D$  et de l'éclairement  $E$  du capteur ou de la pellicule :

$$\Phi = I \times \Omega$$

$$\Phi = I \times S/r^2 \quad \text{or} \quad S = \pi(D/2)^2$$

$$\Phi = I \times \pi(D/2)^2/r^2 \quad \text{or} \quad E = \Phi/S_{\text{capteur}}$$

$$E = \frac{I \times \pi}{4r^2 S_{\text{capteur}}} \times D^2$$

$$E = k \times D^2$$

Calcul du flux  $\Phi$  fonction de la focale  $F$  :

$$E = \Phi/S \quad \text{or} \quad S = \pi H^2$$

$$E = \Phi/(\pi H^2) \quad \text{or} \quad H \approx F\alpha$$

$$E = \frac{\Phi}{\pi(F\alpha)^2}$$

$$E = \frac{\Phi}{\pi\alpha^2} \times 1/F^2$$

$$E = k \times 1/F^2$$

Finalement :

$$E \propto D^2/F^2 = 1/N^2$$

## 2 Le champ

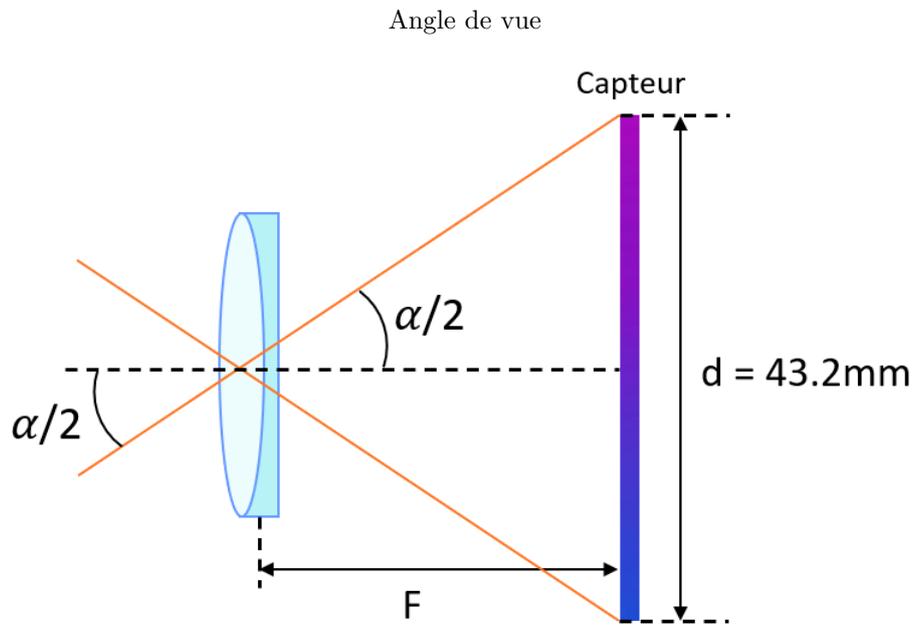
Le champ est l'angle totale capturé sur la photo. Le champ sera plus grand lorsque la focale de l'objectif sera court ou lorsque la surface du capteur sera grande.

C'est sous un angle de vision de  $\alpha \in [40, 60]$  que l'oeil perçoit le plus de résolution et sera donc le plus confortable [31] ce qui sera équivalent à un objectif photo Full Frame (22mm de diagonale) de focale :  $F = \frac{22}{\tan \alpha/2}$ .

Calcul de la plage de focale :  $F = \frac{22}{\tan 30} = 38mm$  et  $F = \frac{22}{\tan 20} = 60mm$ .

Un objectif de 50mm en FF est qualifié de "Normal", il existe plusieurs raison à cela :

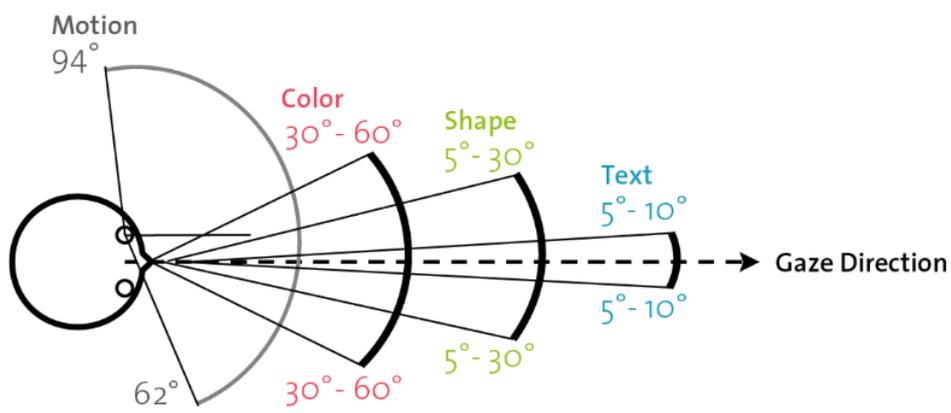
- A une distance "Normal" d'un sujet humain (distance de contact formel) il capturera sur la photo ce que verra à peu de chose près la vision humaine [147].
- Le 50mm est la focale permettant d'éviter l'effet déformant des objectifs grand angle à une distance "Normale" ainsi que l'effet aplatissant des télé-objectifs à la distance minimum de mise au point de ces objectifs.



Avec un zoom le champ varie avec le changement de focale cependant toutes les focales de la plage du zoom ne sont pas strictement équivalente car les aberrations optiques sont plus ou moins maîtrisées selon les focales utilisées.

Ansel Adams en avocant des focales fixes aurait dit : “Zoom with your feet” [48], mais ce ci n’est valable que lorsqu’on parle d’objets déjà proches de nous, car autrement rien ne remplacera un zoom pour obtenir une vision rapprochée d’objets lointains ou qui se situent dans le ciel. L’allongement de la focale compresse artificiellement les plans et des objets lointains mais aussi distant entre eux deviennent avec le zoom subitement plus proche mais aussi les uns par rapport aux autres ce qui est impossible à faire en s’approchant physiquement des objets. Par exemple seul un allongement de focale permet de prendre la photo d’un homme paraissant plus petit que le soleil couchant situé juste derrière.

Champ de la vision humaine



## 2.1 Le profondeur de champ

La profondeur de champ est la plage de distance devant l’observateur ou le photographe qui sera nette sur la photo.

La PDF diminue si :

- On augmente l'ouverture ex : passer de F/8 à F/1.4
- On augmente la focale de l'objectif ex : passer d'un objectif standard de 50mm à un télé-objectif de 135mm
- On se rapproche du sujet
- On utilise un capteur plus grand sans changer le cadrage
- On utilise un objectif macrophoto avec un rapport de reproduction 1 :1 ou bien que l'on ajoute une bague entre l'objectif et le boîtier

La PDC est minimum à l'ouverture maximale de l'objectif, de quelques cm à F/1.2 ce qui rend le focus très critique.

Lorsque la profondeur de champ est faible, les objets situés en arrière plan paraissent à la fois plus gros et plus proches tout en étant plus flouté à mesure que ceux ci s'éloignent, c'est la compression des plans.

A titre d'exemple si lon compare 2 objectifs, un 24-105mm f/4.0 et un 24-70mm f/2.8

- Le 24-105 à 105mm possède une meilleur compression des plans que le 24-70 à 70mm
- Le 24-105 à 105mm f/4 possède le même flou d'arrière plan (bokeh) que le 24-70 à 70mm f/2.8

## 2.2 La distorsion du champ

Si on utilise un objectif grand angle, par exemple une focale de 24mm pour réaliser un portrait rapproché on verra de la distorsion dans l'image, le nez apparaîtra plus gros que la réalité et les oreilles presque cachés derrière la tête. Contrairement à l'intuition ce n'est pas l'objectif qui produit cet effet mais la distance du sujet !

Ainsi il sera possible de produire le même cliché avec un grand angle et un téléobjectif du moment qu'on prend la photo à la même distance du sujet dans les 2 cas.

- Le sujet est loin, si on on veut obtenir le même cliché pris avec un grand angle qu'avec un téléobjectif il faudra cropper l'image
- Le sujet est proche, si on on veut obtenir le même cliché pris avec un téléobjectif qu'avec un grand angle il faudra recomposer plusieurs clichés pour produire l'image

Le téléobjectif permet de prendre un cliché de sujet éloigné sans avoir besoin de cropper l'image pour isoler le sujet comme avec un grand angle. Le grand angle permet de prendre un cliché de sujet proche sans avoir besoin de recomposer plusieurs clichés pour avoir la totalité du sujet dans la photo.

La focale et la distance requise pour différents types de portraits :

- Objectif 24 - 28mm : 1 - 1.5m / full body shots or large group shots inside a well defined environmental background / for street photo
- Objectif 35mm : 1 - 1.5m / full body shot or group shots / for street photo
- Objectif 50mm : 1.5 - 2.5m / half body shot (natural eye vision)
- Objectif 85mm : 2.5 - 3.5m / head and shoulder portrait / for interiors where room is limited or weddings
- Objectif 105 - 135mm : 3 - 4.5m / headshots / for weddings
- Objectif +200mm : 4.5 - 7.5m / tight headshots (maximum background blur)

## 2.3 Le Bokeh

Pour obtenir plus de fond flou il faut :

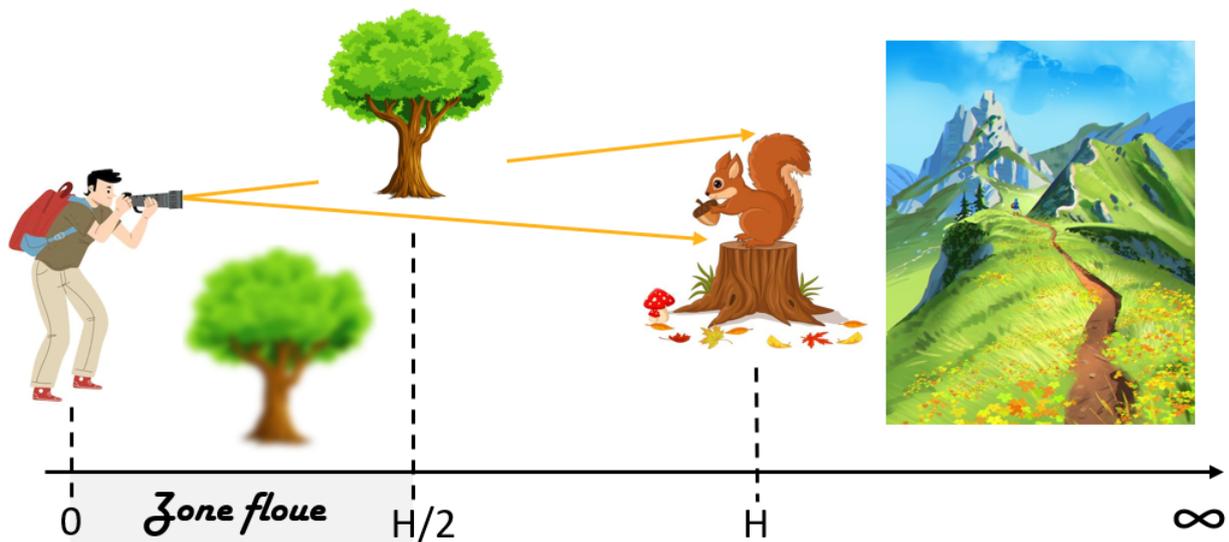
- Réduire la distance avec le sujet
- Augmenter la distance entre le sujet et l'arrière plan
- Augmenter la focale
- Augmenter l'ouverture
- Augmenter la taille du capteur

Pour améliorer l'esthétique du Bokeh il faut augmenter le nombre de lamelles de l'obturateur afin d'avoir une ouverture quasi circulaire.

## 2.4 L'hyperfocale

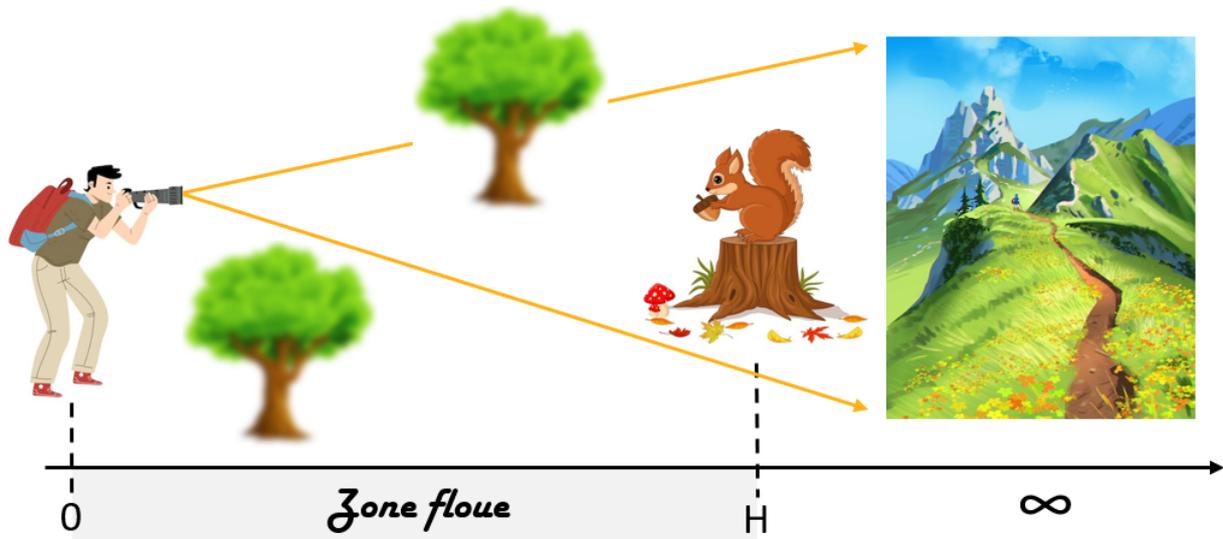
L'hyperfocale est la distance  $H$  pour laquelle la profondeur de champ s'étendra de  $H/2$  à l'infini si on fait la mise au point à la distance  $H$ . Une conséquence (voir calcul) si on fait la mise au point à l'infini tout les plans seront nets depuis cette distance hyperfocale.

Mise au point sur l'hyperfocale  $H$



Credit : J.G. Gricourt

## Mise au point sur l'infinie



Credit : J.G. Gricourt

Le cercle de confusion  $c$  désigne la dimension maximale du point image sur le capteur pour considérer qu'il est vu comme un point sur l'image finale, sa dimension dépend à la fois :

- De l'acuité visuelle de l'observateur
- De la distance de visualisation de la photo
- De la dimension de la photo (papier ou écran)
- Du piqué de l'objectif utilisé différent aussi entre le centre de la photo et le coin de la photo

En pratique (pas forcément la réalité) [6] :

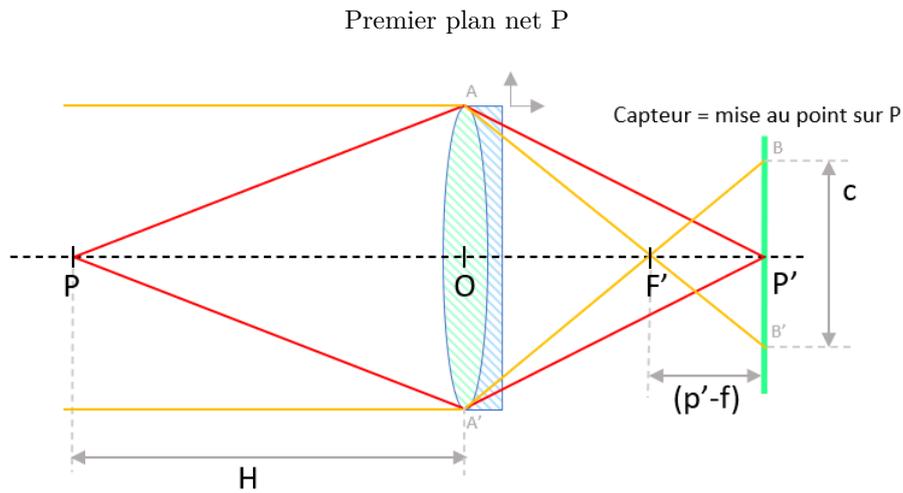
- Numérique :  $c = \frac{d_{\text{capteur}}}{1730}$ , où  $d_{\text{capteur}}$  est la diagonale du capteur en mm, c'est la formule empirique donnée par Zeiss et repris dans les documents
- Argentique :  $c = 0.024\text{mm}$ , valable pour une acuité visuelle de 1 arcmin, pour un tirage 10x15 (argentique 24x36) observé à une distance de 25cm = "Punctum Proximum" moyen de la vision humaine

Pour un format 24x36 numérique on obtient :  $c = 43.27/1730 = 0.025\text{mm}$

*Note : la valeur du "Punctum Proximum" augmente avec l'âge avec l'apparence de la presbytie.*

La mise au point consiste à rapprocher ou éloigner le foyer de l'objectif du capteur selon la distance du sujet visé. Lorsque la mise au point se fait à l'infini la foyer est exactement sur le capteur.

**Calcul de l'hyperfocale** Dans ce premier schéma le point  $F'$  côté image est le point focal du système. La mise au point est faite sur le point  $P$  produisant une image  $P'$ . On positionne le capteur sur le point image  $P'$  qui sera alors vu parfaitement net. On cherche déterminer la position du point objet  $P$  afin qu'un point objet situé à l'infini et pour lequel le point image  $F'$  est encore vu net sur le capteur.



Un premier cercle de confusion correspond à la tâche formée par le point image  $F'$  lorsque le sujet est à l'infini. Si on considère les triangles homothétiques  $(F',A,O)$  et  $(F',B',P')$  on peut appliquer le théorème de Thalès :

$$\frac{\overline{AO}}{\overline{P'B}} = \frac{\overline{F'O}}{\overline{F'P'}}$$

$$\frac{-D/2}{c/2} = \frac{-f}{p'-f}$$

$$\frac{c}{D} = \frac{p'-f}{f}$$

$$p' = \frac{fc}{D} + f \quad \text{or} \quad N = f/D$$

$$p' = Nc + f$$

Avec  $\overline{OP} = -H$  la distance hyperfocale telle que définie dans la seconde définition, on peut écrire la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OP'}} - \frac{1}{\overline{OP}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{H} = \frac{1}{f}$$

$$p' = \frac{fH}{H-f} \quad \text{or} \quad p' = Nc + f$$

$$Nc + f = \frac{fH}{H-f}$$

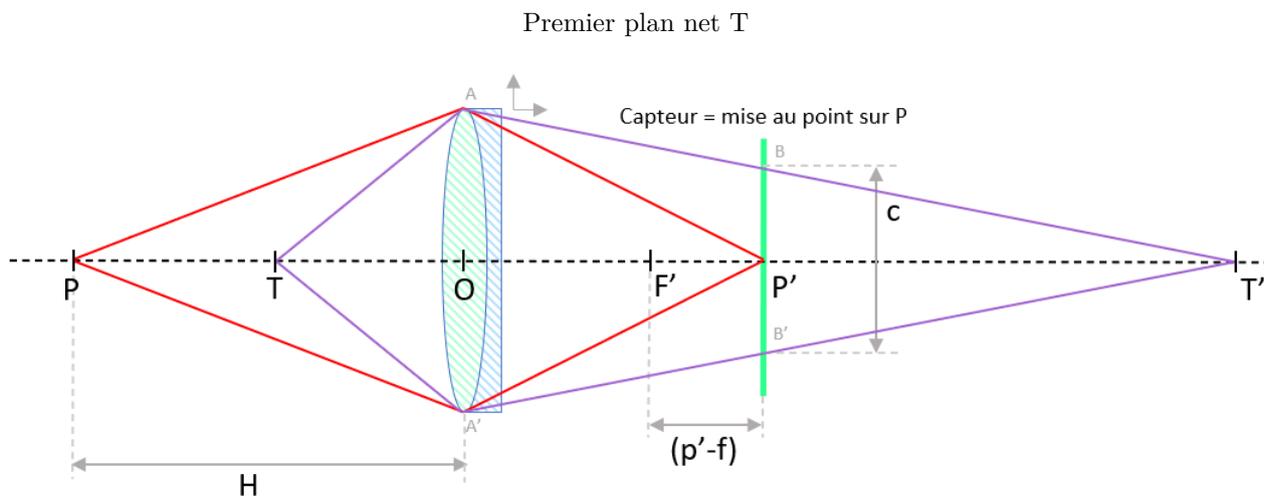
$$NcH + fH - Ncf - f^2 = fH$$

$$NcH = Ncf + f^2$$

$$H = \frac{Ncf + f^2}{Nc}$$

$$H = f + \frac{f^2}{Nc}$$

Dans ce second schéma le capteur n'a pas bougé, la mise au point est toujours faite sur le point P produisant une image P'. On cherche à déterminer la position du point objet T situé avant le point P et pour lequel dont le point image T' est encore vu net sur le capteur.



Credit : J.G. Gricourt

Un second cercle de confusion correspond à la tâche formée par le point image T' lorsque le sujet est à la position T. Si on considère les triangles homothétiques (A,O,T') et (B,P',T') on peut appliquer le théorème de Thalès :

$$\begin{aligned} \frac{\overline{AO}}{\overline{BO}} &= \frac{\overline{OT'}}{\overline{P'T'}} \\ \frac{D/2}{c/2} &= \frac{t'}{t' - p'} \\ \frac{D(t' - p')}{c} &= t' \\ \frac{Dt'}{c} - \frac{Dp'}{c} &= t' \\ t'(D - c) &= Dp' \\ t' &= \frac{Dp'}{D - c} \\ t' &= \frac{fp'}{f - Nc} \quad \text{or} \quad p' = Nc + f \\ t' &= \frac{fNc + f^2}{f - Nc} \end{aligned}$$

On peut écrire la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OT'}} - \frac{1}{\overline{OT}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

$$\frac{1}{t'} - \frac{1}{\overline{OT}} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{\overline{OT}} = \frac{1}{t'} - \frac{1}{f}$$

$$\overline{OT} = \frac{t'f}{f - t'} \quad \text{or} \quad t' = \frac{fNc + f^2}{f - Nc}$$

$$\overline{OT} = \frac{\frac{fNc + f^2}{f - Nc} f}{f - \frac{fNc + f^2}{f - Nc}}$$

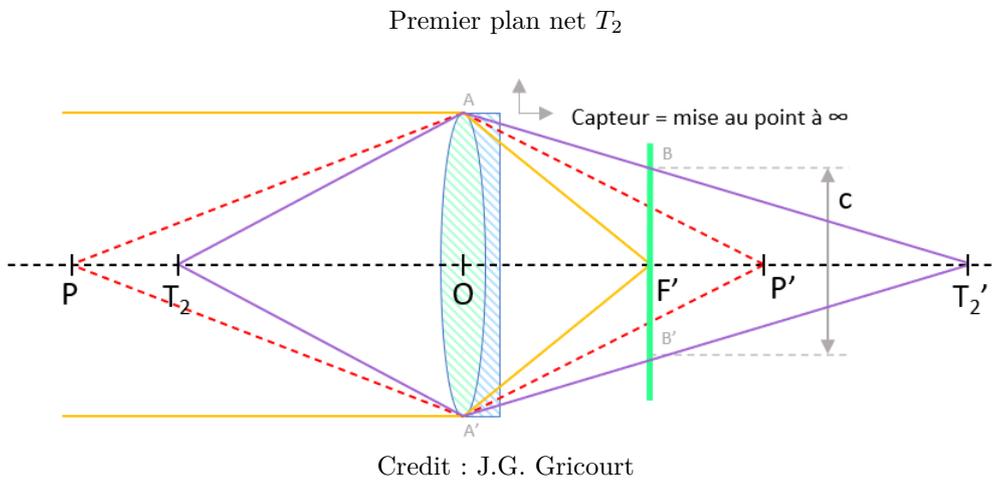
$$\overline{OT} = \frac{(fNc + f^2)f}{f^2 - fNc - fNc - f^2}$$

$$\overline{OT} = \frac{fNc + f^2}{-2Nc}$$

$$\overline{OT} = -H/2$$

Conclusion : lorsque la mise au point est réalisée à la distance hyperfocale H, le champ est net depuis la distance H/2 jusqu'à l'infini.

Dans ce troisième schéma le capteur a été déplacé sur la plan focal F' donc la mise au point est faite à l'infini produisant l'image F'. On cherche déterminer la position du point objet T<sub>2</sub> situé avant le point P ici et pour lequel le point image T'<sub>2</sub> est encore vu net sur le capteur.



Un cercle de confusion correspond à la tâche formée par le point image T'<sub>2</sub> lorsque le sujet est à la position T<sub>2</sub>. Le schéma de construction est similaire au schéma précédent car le point T a été remplacé par le point T<sub>2</sub>.

$$t' = \frac{fp'}{f - Nc} \quad \text{or} \quad p' \text{ remplacé par } f$$

$$t' = \frac{f^2}{f - Nc}$$

Dans la seconde équation issue de l'application de la relation de conjugaison :

$$\overline{OT} = \frac{t'f}{f-t'} \quad \text{or} \quad t' = \frac{f^2}{f-Nc}$$

$$\overline{OT} = \frac{\frac{f^2}{f-Nc}f}{f - \frac{f^2}{f-Nc}}$$

$$\overline{OT} = \frac{f^2f}{f^2 - fNc - f^2}$$

$$\overline{OT} = -\frac{f^2}{Nc}$$

$\overline{OT} = f - H$  or en général f est très petit au regard de H

$$\boxed{\overline{OT} = -H}$$

Conclusion : lorsque la mise au point est réalisée à l'infini, le champ est net depuis la distance H jusqu'à l'infini. Donc on perd un peu en plage de netteté par rapport à la mise au point sur à la distance l'hyperfocale.

**Exemple de calculs** Avec des objectifs fujifilm XF 56mm f/1.2 R WR, XF 33mm f/1.4 R LM WR, XF 23mm f/1.4 R LM WR, XF 18mm f/1.4 R LM WR

Calculs de l'hyperfocale pour des objectifs Fujifilm

| Hyperfocale H         |     |        |                            |     |    |     |              |    |    |  |
|-----------------------|-----|--------|----------------------------|-----|----|-----|--------------|----|----|--|
| APS-C Fuji XH-2       |     | d (mm) | 28.207                     |     |    |     |              |    |    |  |
|                       |     | c (mm) | 0.0163046                  |     |    |     |              |    |    |  |
| XF 56mm f/1.2 R WR    |     | F (mm) | 56                         |     |    |     |              |    |    |  |
|                       |     |        | <i>center</i> <i>comer</i> |     |    |     |              |    |    |  |
| N                     | 1.2 | 1.4    | 2                          | 2.8 | 4  | 5.6 | 8            | 11 | 16 |  |
| H (m)                 | 160 | 137    | 96                         | 69  | 48 | 34  | 24           | 18 | 12 |  |
| XF 33mm f/1.4 R LM WR |     | F (mm) | 33                         |     |    |     |              |    |    |  |
|                       |     |        | <i>center</i> <i>comer</i> |     |    |     |              |    |    |  |
| N                     |     | 1.4    | 2                          | 2.8 | 4  | 5.6 | 8            | 11 | 16 |  |
| H (m)                 |     | 48     | 33                         | 24  | 17 | 12  | 8            | 6  | 4  |  |
| XF 23mm f/1.4 R LM WR |     | F (mm) | 23                         |     |    |     |              |    |    |  |
|                       |     |        | <i>center</i> <i>comer</i> |     |    |     |              |    |    |  |
| N                     |     | 1.4    | 2                          | 2.8 | 4  | 5.6 | 8            | 11 | 16 |  |
| H (m)                 |     | 23     | 16                         | 12  | 8  | 6   | 4            | 3  | 2  |  |
| XF 18mm f/1.4 R LM WR |     | F (mm) | 18                         |     |    |     |              |    |    |  |
|                       |     |        | <i>center</i>              |     |    |     | <i>comer</i> |    |    |  |
| N                     |     | 1.4    | 2                          | 2.8 | 4  | 5.6 | 8            | 11 | 16 |  |
| H (m)                 |     | 14     | 10                         | 7   | 5  | 4   | 3            | 2  | 1  |  |

Credit : J.G. Gricourt

Note : les ouvertures pour lesquelles le piqué sera maximal pour cete optique au centre ou dans les coins sont notés en couleur.

## 2.5 Le Vignetting

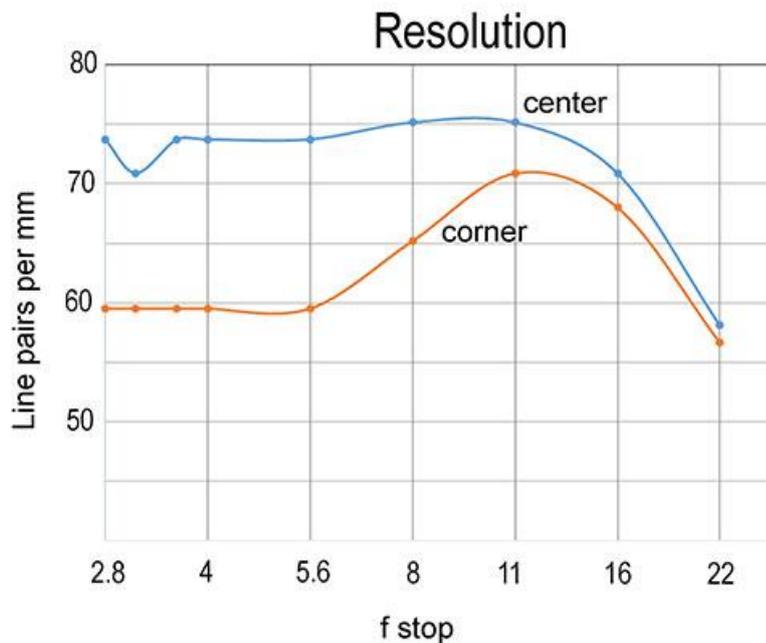
Désigne l'assombrissement des coins de l'image observé lorsqu'on utilise en général un objectif grand angle à pleine ouverture.

# 3 La Résolution

## 3.1 La résolution limité par l'objectif

Les objectifs sont en général moins bons à pleine ouverture car il est plus difficile de former une lentille idéale sur la totalité de sa surface sans introduire des aberrations optiques (sphéricité, astigmatisme) or à pleine ouverture les rayons utilisés pour former l'image frappe la totalité de la surface. Donc pour améliorer les performances de l'objectif il faut fermer le diaphragme mais jusqu'à un certain point où la diffraction de la lumière va devenir trop importante et produire une PSF trop large réduisant d'autant la résolution. Par conséquent il existe un "Sweet Spot" de l'ouverture F/D où la résolution de l'objectif sera optimale.

Lens Tips : How to Find Your Lens' Sweet Spot



Credit : Seth Shostak - Shutterbug

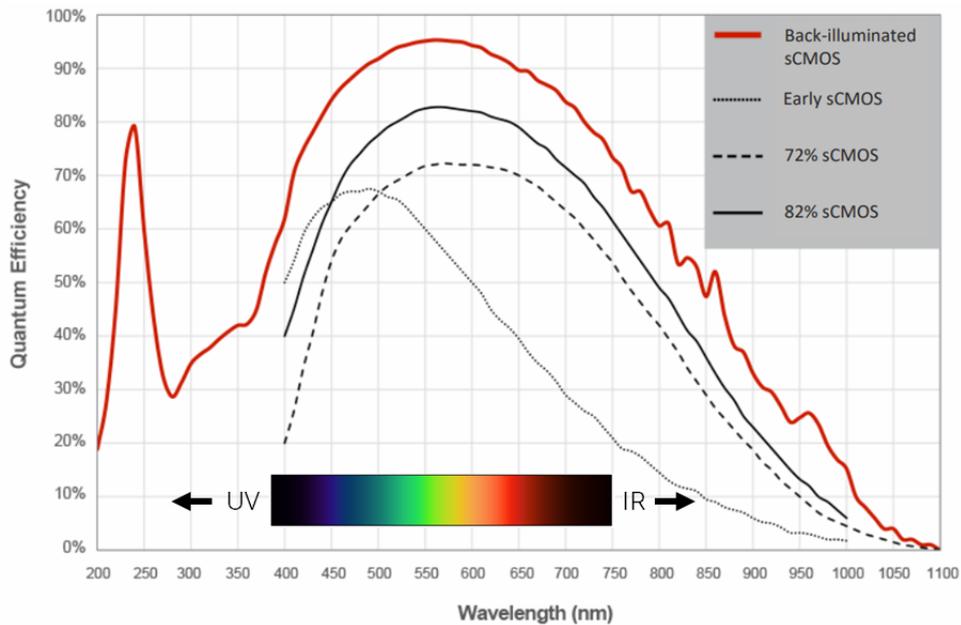
## 3.2 La résolution limité par les pixels

La résolution de l'image est donnée d'abord par le nombre de photosites rassemblés sur le capteur de l'APN. Ces photosites possédant chacun une couleur unique (rouge, vert ou bleu) ne sont pas encore des pixels, il le deviendrons après un traitement de dématricage (Bayer ou X-Trans) qui produira l'image finale JPG.

Pour comprendre la capacité du capteur à capturer les détails d'une scène photographique il faut parler d'échantillonnage. La physique nous dit que le plus petit point image que l'on peut représenter projeté sur un écran ou un capteur est la figure de Airy dont la dimension linéaire vaut :  $Airy = 2.44 \times \lambda \times F/D$ , les capteurs photos des APN ont en général la meilleure

sensibilité sur la longueur d'onde  $\lambda = 551nm$ , la couleur vert-jaune donc :  $Airy = 1.344 \times F/D$ . Si on échantillonne cette figure de Airy dans un seul pixel on n'aura pas exploité au mieux la résolution car cette tâche ronde deviendra carrée sur l'image finale.

### Maximizing Signal Collection



Credit : [Teledyne Photometrics](#)

En astrophoto on préférera échantillonner la figure de Airy sur une matrice de 2x2 ou 3x3 pixels, en photo diurne on prendra plutôt 2.5x2.5 pixels (arbitraire) c'est le choix fait par le site [Photopills](#) dans son calculateur. Donc la résolution optimale que l'on appellera "Diffraction Limited" sera obtenue si la dimension des pixels ne dépassent pas une certaine valeur :

$$p_{\max} = \frac{Airy}{2.5}$$

$$p_{\max} = 0.5376 \times F/D$$

$$(F/D)_{\min} = 1.860 \times p_{\max}$$

Exemple avec le Fujifilm X-H2 le pixel pitch vaut :  $p = 3.04\mu m$  donc  $(F/D)_{\min} = 5.7$ . Si on augmente l'ouverture au delà de  $(F/D)_{\min}$ , la résolution sera toujours optimale mais seulement du point de vue du capteur mais la figure de Airy continuant d'augmenter avec la diminution de l'ouverture cela impactera négativement la résolution de l'image. Il faut retenir que cette valeur est la valeur optimale de l'ouverture pour cet APN. Donc plus les pixels sont petits et c'est la tendance aujourd'hui surtout sur capteur APS-C plus l'ouverture optimale est petite parfois en dessous de 5.6.

## Pixel Pitch des APNs

| APN                     | Total Pixels | Résolution du capteur | Pixel pitch        |
|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------|
| Nikon D700              | 12.1         | 4256 x 2832           | 8.42 $\mu\text{m}$ |
| Nikon D3S               | 12.1         | 4256 x 2832           | 8.42 $\mu\text{m}$ |
| Sony Alpha 7S III       | 12.1         | 4240 x 2832           | 8.36 $\mu\text{m}$ |
| Sony Alpha 7S           | 12.2         | 4240 x 2832           | 8.32 $\mu\text{m}$ |
| Nikon D4S               | 16.2         | 4928 x 3280           | 7.28 $\mu\text{m}$ |
| Canon EOS-1D X Mark III | 20.1         | 5472 x 3648           | 6.55 $\mu\text{m}$ |
| Canon EOS R8            | 24.2         | 6000 x 4000           | 5.99 $\mu\text{m}$ |
| Nikon D750              | 24.3         | 6016 x 4016           | 5.95 $\mu\text{m}$ |
| Nikon Z6 II             | 24.5         | 6048 x 4024           | 5.92 $\mu\text{m}$ |
| Sony Alpha 7 III        | 24.5         | 6048 x 4024           | 5.92 $\mu\text{m}$ |
| Canon EOS R             | 30.3         | 6720 x 4480           | 5.34 $\mu\text{m}$ |
| Fujifilm GFX 50S II     | 51           | 8256 x 6192           | 5.31 $\mu\text{m}$ |
| Nikon D850              | 45.7         | 8256 x 5504           | 4.34 $\mu\text{m}$ |
| Nikon Z7 II             | 45.7         | 8256 x 5504           | 4.34 $\mu\text{m}$ |
| Nikon Z8                | 45.7         | 8256 x 5504           | 4.34 $\mu\text{m}$ |
| Nikon Z9                | 45.7         | 8256 x 5504           | 4.34 $\mu\text{m}$ |
| Sony Alpha One          | 50.1         | 8640 x 5760           | 4.14 $\mu\text{m}$ |
| Canon EOS R5            | 45           | 8192 x 5464           | 4.39 $\mu\text{m}$ |
| Fujifilm GFX 100 II     | 102          | 11648 x 8736          | 3.78 $\mu\text{m}$ |
| Sony Alpha 7R V         | 61           | 9504 x 6336           | 3.73 $\mu\text{m}$ |
| Fujifilm XH-2 / XT5     | 40           | 7728 x 5152           | 3.04 $\mu\text{m}$ |

Source : [Digital Camera Database](#)

Le calcul du pixel pitch pour le format Full Frame :  $p = \frac{\text{Largeur du capteur}=35.9}{\text{Nombre de pixel en largeur}} \times 1000\mu\text{m}$

### 3.3 La résolution limitée par la focale à l'ouverture minimum

Lorsqu'il s'agit d'objectif grand public, la résolution sera toujours meilleure avec des objectifs à focale fixe = "Prime Lenses" à courte focale, ex : 28mm sur l'ouverture minimale, ex : F/1.8 qu'avec des objectifs à focale fixe = à longue focale dans les mêmes conditions. Dans le cas d'objectif pro, les grandes focales fixes sont presque toujours meilleur en résolution même à l'ouverture minimum.

### 3.4 Le flou de bougé

Le flou de bougé correspond à une perte de résolution qui n'est pas dû à une mauvaise mise au point ou à l'utilisation une ouverture trop ouverte ou trop fermée.

Les sources de flous plus communes lorsqu'on est à basse vitesse :

- Flou de bougé du miroir = "Mirror Slap"
- Flou de bougé de l'opérateur
- Flou de bougé dû à l'appuie manuel sur un déclencheur
- Flou de bougé dû au vent
- Flou de bougé dû aux vibrations d'un trépied

Lorsqu'on est à haute vitesse et en particulier en mode rafale l'appareil peut subir du flou de bougé dû à l'obturateur =

“Shutter Shock”.

L'effet d'un flou en général pourra être accentué par :

- Un sujet à une distance plus proche
- Une vitesse trop lente (sans trépied)
- L'utilisation d'un télé-objectif
- L'utilisation d'un capteur à haute résolution de plus de 30 millions de pixels
- L'utilisation d'objectifs à haute résolution

### 3.5 La résolution et le contraste

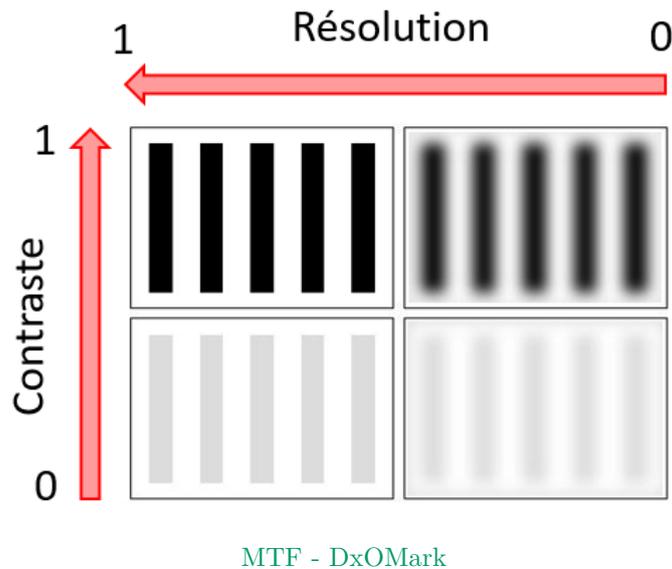
La résolution désigne la capacité d'une optique à distinguer 2 points ou lignes proches d'égal contraste. De manière général la lumière est diffracté au passage d'une ouverture comme celle du diaphragme d'une optique donc un point image a une dimension  $d = \text{Airy}$  bien définie en fonction de cette ouverture  $F/D$  et celle ci vaut :  $\text{Airy} = 2.44 \times \lambda \times F/D$ . C'est cet effet de diffraction qui limite la résolution de l'optique.

La résolution baisse toujours aux 2 extrêmes de l'ouverture de l'objectif, exemple : Nikkor 50mm F/1.4

- A F/10 (petite ouverture) l'objectif souffre de la diffraction de la lumière, la figure de Airy (ou point image) devient plus grosse
- A F/1.4 (grande ouverture) l'objectif souffre d'aberration sphérique, la figure de Airy (ou point image) est étalée et devient plus grosse

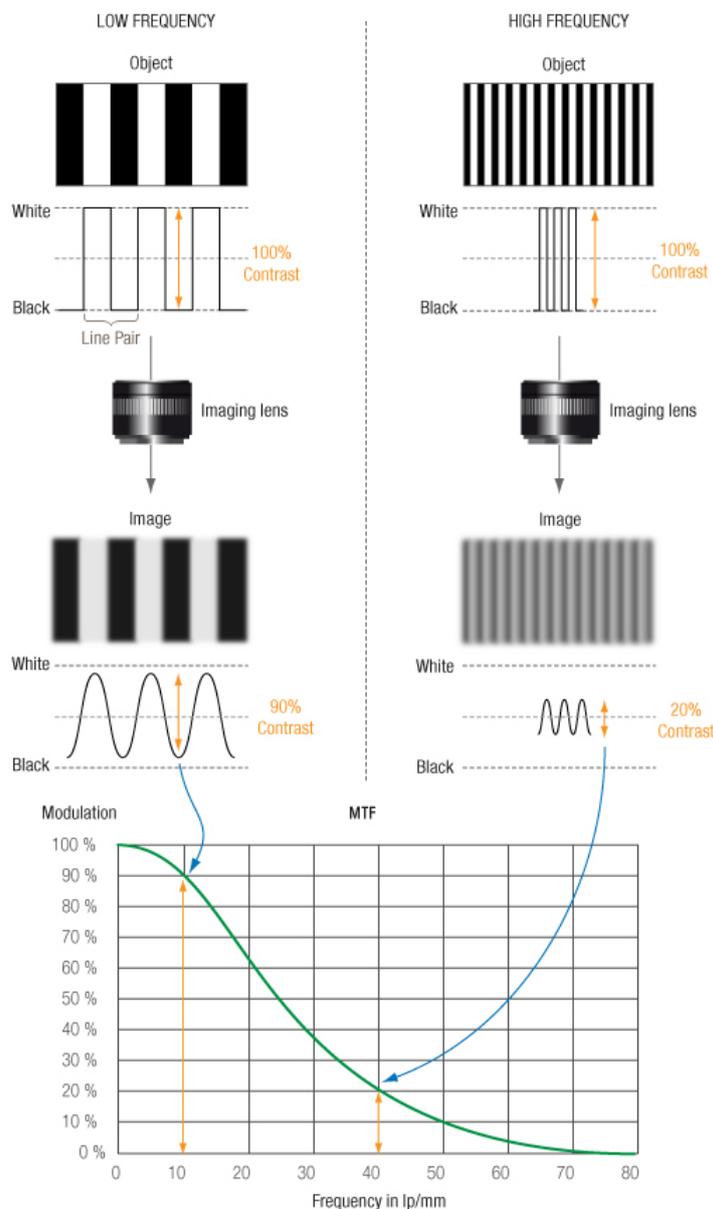
La résolution optimale de cet objectif est obtenu à une ouverture de F/5.6.

Le contraste désigne la capacité d'une optique à reproduire dans son image des variations d'intensité très tranchées noir / blanc. La qualité du contraste s'évalue sur des surfaces de l'image. L'augmentation du contraste dans l'image s'accompagne d'uns saturation des couleurs.



La courbe MTF mesure la capacité de l'optique à reproduire un pattern de contraste = 1 et cela pour différentes fréquences spatiales mesurée en nombre de lignes par millimètre. Idéalement une optique parfaite montrerait une courbe MTF horizontal valant un contraste de 1 sur l'ensemble des fréquences spatiales mais ce n'est pas le cas, en général la courbe part de 1 et

diminue progressivement en raison de la perte de contraste à mesure que les fréquences spatiale augmentent.



MTF - DxOMark

L'acutance désigne la capacité de l'optique à reproduire une transition de passage de blanc à noir, en général la transition n'est pas franche et montre une montée plus ou moins progressive (très progressive = faible acutance) [28]. Une image faible en résolution mais ayant une acutance élevée sera perçue comme artificielle ou "Over-sharpened", une image élevée en résolution mais faible en acutance sera vue comme pâle, terne ou plate.

Le piqué d'une image est le résultat de la perception humaine subjective à la fois de la résolution, du contraste et l'acutance de l'image. Lorsque le bruit est présent dans l'image mais reste fin en raison de la densité de pixels importante du capteur, celui ci peut participer à la perception d'un meilleur piqué.

### 3.6 Notion subjective de "Sharpness"

Le piqué ou "Sharpness" d'une photo que ce soit un fichier JPG ou une photo imprimée désigne la perception que cette photo est nette mais jusqu'à un point propre à chaque individu. Le piqué est encore différent de la qualité de mise au point car

une photo peut avoir une mise au point optimale au sens technique du terme mais produire quand même une photo floue pour d'autres raisons :

- Ouverture trop grande produisant une zone de netteté trop faible
- Correction optique de l'objectif insuffisante en général vers les bords
- Diffusion de la lumière au passage de l'optique en raison de traitements anti-reflet insuffisants produisant une perte notable de contraste

Depuis l'avènement de la photo numérique le piqué est devenu une sorte de graal que chaque photographe doit chercher à obtenir coûte que coûte soit en investissant dans les objectifs les plus chers, dotés des corrections et de traitements les plus optimisés pour produire des photos qualifiées de piquées ou "Sharp".

Cependant une belle photo, réussie ne correspond jamais à ce standard dans la réalité, car ce qui est important avant tout ce sont :

- Les couleurs
- La composition
- L'atmosphère
- Le moment, l'instant
- La manière dont le sujet se détache du reste de l'image
- L'intention du photographe

Le piqué rentre très peu voir pas du tout en ligne de compte [140], on parle bien pourtant de "flou artistique"! De plus une photo qu'elle soit projetée sur un écran ou imprimée et suspendue sur un mur ne se regarde jamais le nez collé dessus mais toujours à une certaine distance où l'oeil limité par son pouvoir séparateur absolu dicté par la physique et ses nombreux défauts selon les individus verra subjectivement donc une image parfaitement nette même si en y regardant de très près on y distingue un léger flou.

Ceci est une préoccupation que n'avait pas les photographes célèbres du 20ème siècle, leurs photos n'étaient jamais nettes faute d'avoir des optiques au standard actuel ou des pellicules de meilleure qualité et pourtant ils sont encore exposés dans des galeries car leur témoignage raconte l'histoire de ce siècle et montre la nature comme nos yeux aussi imparfaits soient-ils la verrait.

Ansel Adams a dit : "There nothing worse than a sharp image of a fuzzy concept"

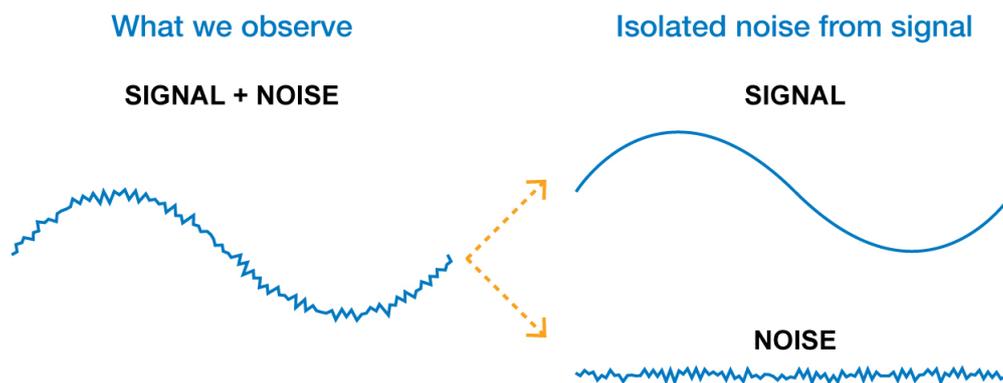
### 3.7 La résolution limitée par la vision

L'autre facteur limitant est l'oeil qui du fait des cônes récepteur tapissant la rétine échantillonne à son tour le point image. D'autres défauts optiques viennent entacher cette résolution mais en pratique on considère que l'oeil possède une résolution maximale de 60 arcsec à 25cm de distance [105]. Cependant nous ne regardons pas l'image sur le capteur directement on la visualise soit sur un écran pixelisé soit sur une photo imprimée, dans ces deux cas l'image aussi a été échantillonnée et la résolution initiale a dû en pâtir.

## 4 Le Bruit

Le bruit représente toujours du signal aléatoire supplémentaire dont la valeur fluctue qui est ajouté au signal d'origine (l'image). Sur les photos il se manifeste par des pixels colorés pour la photo numérique et des micro tâches sur les clichés argentiques mais pour ces derniers la nature du bruit est complètement différente des premiers.

## Le bruit



Credit : Simon Paonessa

Les bruits aléatoires :

- Shot Noise : l'arrivée aléatoire des photons capturés par photosites du capteur
- Thermal Noise = Dark Current Noise : agitation thermique extérieure ou l'ampglow, un signal de même nature que le "Shot Noise"
- Read Noise = TDN Noise = Temporal Dark Noise = Sensor Noise : la conversion des photons en électrons [138]
- Read Noise = AMP Noise : application d'un gain (ISO natif)
- Read Noise = ADC Noise : conversion du voltage en valeur numérique (voir ADU) via l'ADC

Le bruit "Quantization Noise" est une composante du bruit de lecture "ADC Noise".

Le bruit quelque soit son origine peut être décomposé en 2 parties :

- Luminance Noise : il s'agit de la granulation du bruit introduit dans l'image
- Chrominance Noise ou Color Noise : il s'agit de l'apparition de pixels colorés dans l'image introduisant soit des zones colorées ou un décalage globale de la balance des blancs de l'image

Les logiciels de post-traitement des fichiers RAW permettent de réduire sélectivement ces 2 parties du bruit.

Les bruits non parfaitement aléatoires [29] :

- Fixed Pattern Noise : ce bruit se caractérise par des pixels défectueux (pixels morts ou pixels chauds) donc toujours placés au même endroit quelque soit la photo.
- Banding Noise : ce bruit se caractérise par des effets de bandes sur un fond de bruit aléatoire, il apparaît si on augmente trop fortement les ISO ou que l'on augmente trop fortement la luminosité en post-traitement. Ce bruit peut être produit au moment de la lecture du capteur selon le type de APN ou bien par la présence d'une source de lumière artificielle dans la scène pulsant à une certaine fréquence.
- Quantization Noise : ce bruit est celui produit lors de la conversion ADC dû à la résolution limitée de l'ADC, ex : la conversion de la valeur analogique 128.9 donnera la valeur de pixel 129 pour un ADC de 8 bits, l'écart à la valeur réelle est le bruit.

Statistiquement le bruit "Shot Noise" correspond à l'écart type = "Standard Deviation" du signal  $S$  et la valeur moyenne est le signal lui-même. Le "Shot Noise" suit une loi de Poisson donc  $\sigma = \sqrt{S}$ .

Le bruit sera surtout visible dans les parties sombre de l'image où il n'y a pas beaucoup eu de lumière et où donc le signal est presque noyé dans le bruit [129].

Le calcul du bruit total  $N$  compté en nombre d'électrons ajouté à l'image [35] :

$$N^2 = S_{\text{Light}} + S_{\text{Read}} + S_{\text{Thermal}}(tp)$$

$$N^2 = \sigma_{\text{Shot}}^2 + \sigma_{\text{Read}}^2 + \sigma_{\text{Thermal}}^2$$

On quantifie les bruits "Shot Noise" et "Read Noise" comme la moyenne quadratique des écarts à la moyenne  $= \sigma$ .

Le bruit thermique croit avec le temps de pose :  $S_{\text{Thermal}} = \text{TN}_{\text{Thermal}} \times tp$  où  $\text{TN}$  = le nombre d'électrons par seconde générés par le bruit thermique.

Le "Shot Noise" est de loin le plus prépondérant mais pas forcément le plus visible selon la luminosité de l'image, le SNR diminue qu'à 2 conditions :

- L'ouverture diminue :  $N \nearrow$
- Le temps de pose diminue :  $tp \searrow$
- La luminosité de la scène diminue

Lorsque l'exposition est bonne même sur une photo où la scène est mal éclairée (nuit) les zones noires ou sombres ne sont pas bruitées et dans le cas de zone de l'image sous exposées il est possible de déboucher complètement les ombres sans introduire de bruit en glissant le curseur de DXO PhotoLab à droite.

Le bruit généré par certains capteurs à haute résolution comme le Fujifilm X-H2, un APS-C à 40 Mpixels, est visiblement plus fin, introduisant moins de fausses couleurs = "Chrominance Noise" et moins de bruit s'apparentant à un grain photographique = "Luminance Noise". Les détails fins de l'image procurés par la haute résolution en général sont conservés en grande partie malgré le bruit. Pour le voir il suffit d'agrandir à la même échelle sur l'écran une image prise à 24 Mpixels pour la comparer à une image prise à 45 Mpixels [133].

Cas de l'empilement d'images bruts = "Stacking" : lorsqu'on divise l'exposition en plusieurs images on augmente mécaniquement la part du bruit de lecture  $\sigma_{\text{Read}}$  car il s'ajoute sur chaque image une quantité fixe. Une fois les poses empilées, le signal vaut  $\text{Sky} = \text{Sky}_0 + \text{Sky}_0 + \dots + \text{Sky}_0 = n \times \text{Sky}_0$  et le signal de lecture  $n \times \sigma_{\text{Read}}^2$  [86].

Le SNR vaut :

$$\text{SNR} = \frac{n \times \text{Sky}_0}{\sqrt{n \times \text{Sky}_0 + n \times \sigma_{\text{Read}}^2}}$$

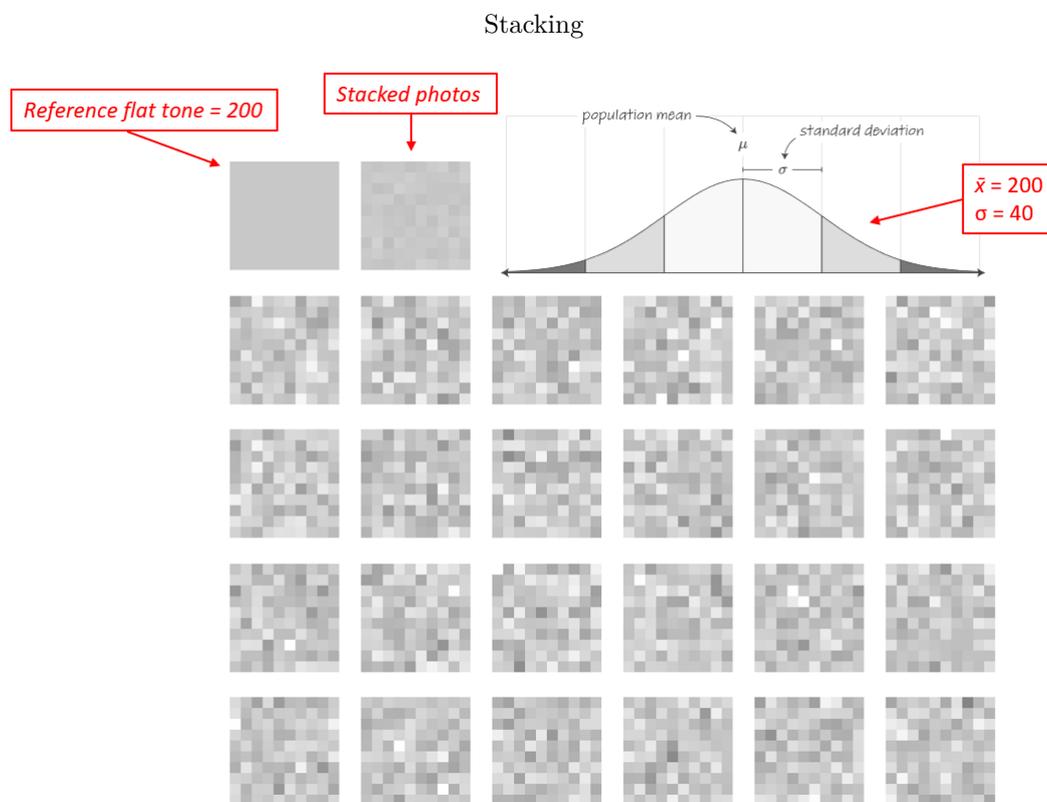
$$\text{SNR} = n/\sqrt{n} \times \frac{\text{Sky}}{\sqrt{\text{Sky}_0 + \sigma_{\text{Read}}^2}}$$

$$\text{SNR} = \sqrt{n} \times \frac{\text{Sky}}{\sqrt{\text{Sky}_0 + \sigma_{\text{Read}}^2}}$$

$$\text{SNR} = \sqrt{n} \times \text{SNR}_{\text{unitaire}}$$

Exemple :

Ici une série de 24 photos d'une scène représentée par une teinte plate = 200 (sur 8 bits) soit 78% de gris. On réalise alors 24 photos toutes affectées par du bruit. Le bruit calculé suit une distribution normale autour de la moyenne = 200. On réalise ensuite la moyenne de toutes les photos pour obtenir une photo finale. On constate que la teinte de la photo moyennée est très proche de la teinte originale de la scène de référence. Si on réalise la même procédure avec une photo couleur on constatera aussi que l'image finale moyennée sera presque complètement débarrassée du bruit.



Credit : J.G. Gricourt

Si on expose correctement une première image à ISO 100 puis on augmente la sensibilité à ISO 1600 en restant à temps de pose et ouverture constante la seconde image sera un peu sur exposée mais en ajustant la luminosité en post traitement pour comparer les 2 images on constatera que le niveau de bruit sera proche et c'est à dire faible [145] ce qui signifie qu'il y avait suffisamment de lumière dans la scène pour le temps de pose et l'ouverture choisie. Les ISO ne font que multiplier l'intensité du signal et du bruit qu'il contient. Le bruit le plus courant le "Shot Noise" est toujours dû à un manque de lumière du fait d'un temps de pause trop court ou d'une ouverture insuffisante.

Il existe d'autres sources de bruits mais de beaucoup plus faible intensité [53] :

- Quantization noise : les arrondis de la conversion ADC est aussi une source de bruit par la caractérisation des écarts à la valeur attendue (limite de la résolution de l'ADC)
- PRNU = Pixel response non-uniformity : les photosites ne sont pas tous rigoureusement identiques et leur efficacité à capturer les photons inégale

## Conditions de visibilité du bruit

| Type de bruit             | Force du signal | Température | Temps de pose $t_p$ |
|---------------------------|-----------------|-------------|---------------------|
| $\sigma_{\text{Shot}}$    | ↘               | -           | ↘                   |
| $\sigma_{\text{Read}}$    | ↘               | -           | -                   |
| $\sigma_{\text{Thermal}}$ | -               | ↗           | ↗                   |

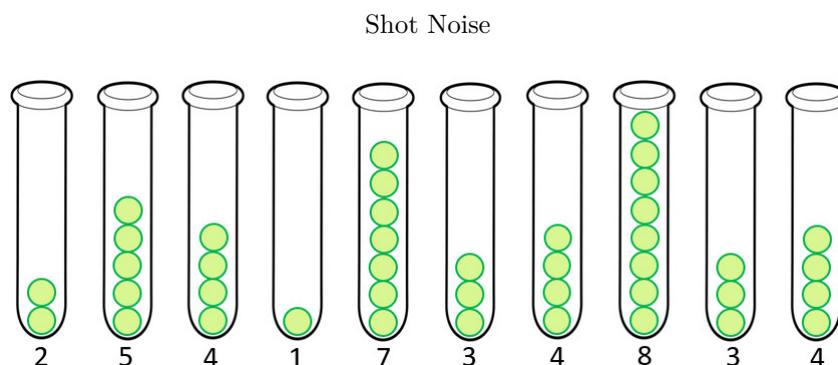
Credit : J.G. Gricourt

### 4.1 Shot Noise / Bruit photonique

Les photons n'arrivent jamais de manière uniforme sur le capteur. Sous un éclairage parfaitement uniforme si l'on envoie exactement 4 photons par secondes devant chaque photosites (pixels) de la matrice du capteur et cela pendant 4 sec, à la fin certains photosites en auront un peu plus et d'autres un peu moins mais en moyenne il y en aura bien en moyenne 4 photons capturés par photosites et convertis idéalement en 4 électrons (un gain pourra être appliqué ensuite avec les ISOs). Cette répartition aléatoire est en fait un bruit blanc indépendante du capteur, celle ci est similaire à la pluie tombant dans une série de verre d'eau. Si la moyenne  $\lambda$  des photons reçus correspond au signal, l'écart type  $\sigma$  correspond au bruit et dans le cas d'une loi de Poisson :  $\sigma = \sqrt{\lambda}$ . La quantité de photon reçue par 1 photosite suit une loi de Poisson pour de petites quantité de lumière puis une loi normale où  $\sigma = \sqrt{\lambda}$  pour de grandes quantité de lumière et ce dès que  $\lambda > 5$ .

*Note : sous un éclairage parfaitement uniforme, examiner ce qui tombe pendant 10 sec dans 1 photosite et durant 5 tentatives est la même chose que d'examiner ce qui tombe pendant 10 sec dans 5 photosites successifs.*

Donc si l'on examine ce qui arrive sur une seule ligne d'une matrice de 10x10 pixels :

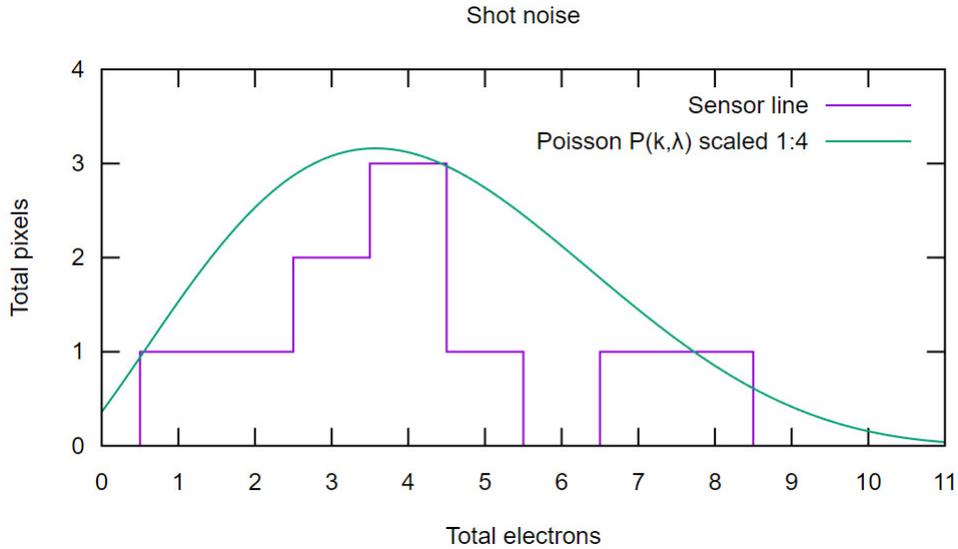


Credit : J.G. Gricourt (voir [calcul](#))

Les électrons issus de la capture du photon sont engrangés dans des puits = "Wells" qui sont de petits condensateurs dont le voltage est proportionnel au nombre d'électrons engrangés.

On peut tracer un graphique avec les barres indiquant le nombre de photosites (axe des ordonnées) pour chaque quantité d'électrons convertis (axes des abscisses). On peut aussi indiquer à la place du nombre d'électrons la valeur de l'ADU qui est le niveau de gris dans l'image car il y a une relation de proportionnalité directe en ADU et le nombre d'électrons convertis.

## Shot Noise - Loi de Poisson



Credit : J.G. Gricourt (voir [tracé Gnuplot](#))

Cette courbe suit une distribution de Poisson  $P(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$  (en vert) dont la moyenne  $\bar{x} = \lambda = 4$  électrons et l'écart type  $\sigma = \sqrt{\lambda} = 2$  électrons.

L'écart à la moyenne  $\sigma$  représente le bruit contenu dans le signal  $\bar{x}$  donc :  $\sigma_{\text{Shot}} = \sqrt{\text{Signal}}$

Ici le bruit vaut :  $\text{Noise} = \sqrt{4} = 2$  électrons. D'après la loi de distribution, la probabilité d'avoir 4 électrons dans un pixel est de 20% environ ici. Il y a 95% de chance que la quantité d'électrons contenue dans chaque pixels soit compris dans l'intervall (de confiance)  $[\bar{x} - 1.96\sigma, \bar{x} + 1.96\sigma] = [0, 6]$ . Lorsque le nombre d'électrons est très importants (éclairage fort) la courbe devient une distribution de Gauss [53].

L'indicateur de qualité d'une image est le signal to noise ratio vaut :  $\text{SNR} = \text{Signal}/\text{Noise}$ .

**Effet de l'augmentation du temps de pose sur le SNR de l'image** On considère le signal de l'image  $S_0$  prise à un temps de pose de 1 seconde donc :

$$\begin{aligned}
 S &= S_0 \times tp \\
 \sigma &= \sqrt{S_0 \times tp} \\
 \sigma &= \sqrt{S_0} \times \sqrt{tp} \\
 \sigma &= \sigma_0 \times \sqrt{tp}
 \end{aligned}$$

$$\boxed{\text{SNR} = \text{SNR}_0 \times \sqrt{tp}}$$

Le SNR de l'image finale augmente car le bruit augmente moins vite que le signal.

**Effet de l'addition des images sur le SNR de l'image recomposée** On considère n images prises au même temps de pose donc :

$$S = S_0 + S_1 + \dots + S_n$$

$$S = S_0 \times n$$

$$\sigma = \sqrt{S_0 \times n}$$

$$\sigma = \sqrt{S_0} \times \sqrt{n}$$

$$\sigma = \sigma_0 \times \sqrt{n}$$

$$\boxed{\text{SNR} = \text{SNR}_0 \times \sqrt{n}}$$

Le SNR de l'image finale augmente car le bruit augmente moins vite que le signal. C'est ce principe qui est utilisé en astrophoto amateur dans le Stacking d'image pour supprimer le bruit dans l'image.

Pour éviter la baisse du SNR lors de la montée en ISO il faut s'assurer que les autres paramètres (ouverture et temps de pose) ne changent pas pour ne pas modifier la quantité de lumière entrante dont dépend la quantité de bruit "Shot Noise".

La philosophie de l'exposition consiste donc à déterminer le terme  $\frac{tp}{N^2}$  le plus élevé selon :

- Pas de contrainte de prise de vue ni de luminosité : on sur-exposera le plus possible en étirant l'histogramme le plus à droite (ETTR) sans cramer les blanc. Ainsi la plage dynamique du capteur est bien exploité, on réduira alors la luminosité en post traitement.
- Avec des contraintes de prise de vue, soit on fige la scène donc  $tp$  faible, on maximise la profondeur de champ  $N$  élevé, on n'a pas suffisamment de lumière dans la scène (nuit, intérieur) : on exposera en ayant fixé la contrainte et on augmentera les ISO en étirant l'histogramme le plus à droite (ETTR) sans cramer les blanc. Ainsi la plage dynamique du capteur est bien exploité, on ajustera (augmenter ou réduire) la luminosité en post traitement.

Avec des capteurs plus dense en pixels, par exemple 61 Mpixels, on peut gagner en SNR si l'on réduit l'image sans recadrage à par exemple 24 Mpixels, c'est la technique du "Binning" parfois utilisée en astrophoto.

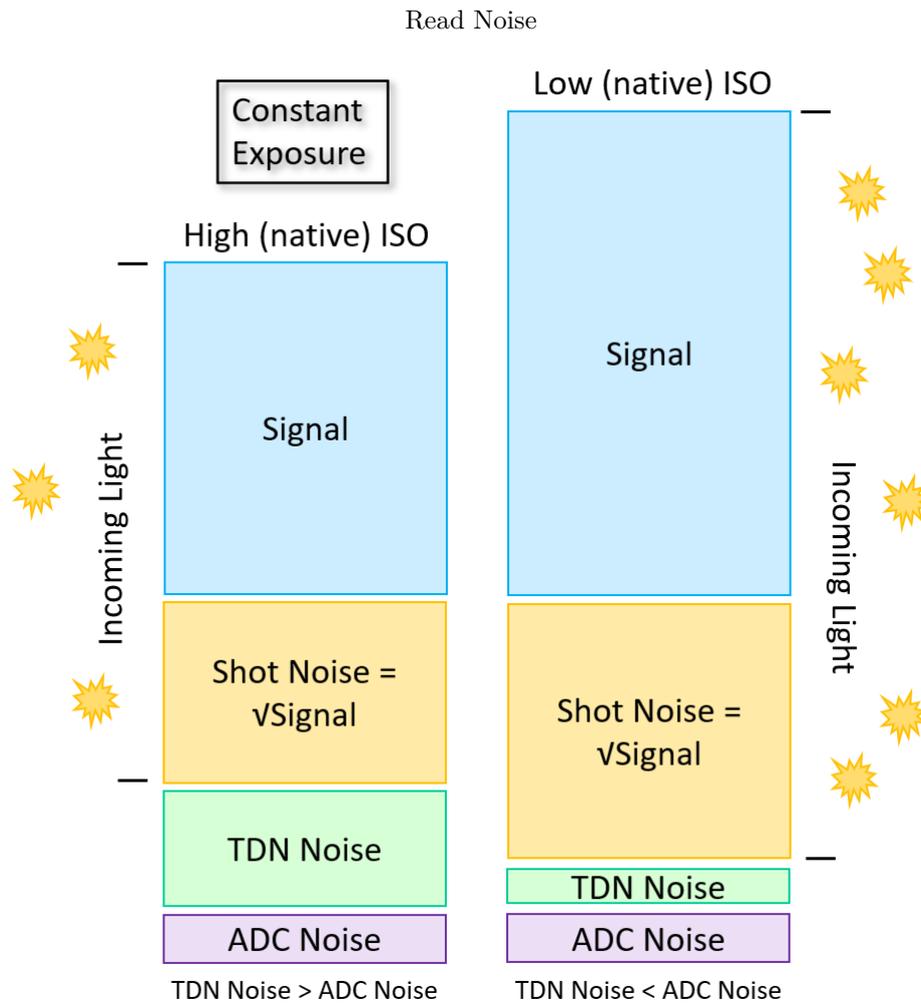
Dans tous les cas le plus important est **la quantité de lumière reçue** déterminé par le couple  $(tp, N)$  qui seul détermine le SNR final de l'image et pas la taille des pixels ni l'amplification ISO choisie.

## 4.2 Read Noise / Bruit de lecture

Il y a plusieurs signaux de lecture produisant chacun un bruit :

- TDN Current : la mesure des électrons contenu dans les photosites (le signal est le voltage aux borne du condensateur)
- AMP Current : l'application d'un gain ISO sur le signal par un amplificateur
- ADC Current : la conversion du signal analogique en niveaux de gris par le convertisseur ADC

Ces différents signaux de lectures comprennent des erreurs qui constituent du bruit statistique. Ces différents bruits aléatoires quantifiés par l'écart type  $\sigma$  sont constants quelque soit le temps de pose. Le bruit lié au signal en sortie de l'ADC est beaucoup plus faible que celui issue des signaux TDN et AMP.



Credit : J.G. Gricourt

*Note : TDN noise = Temporal Dark Noise = lecture des électrons uniquement avant gain ISO [42]*

Lorsque les ISO sont bas l'automatisme de l'appareil (mode priorité) va faire rentrer plus de lumière en jouant sur le couple (tp, N) alors le bruit de lecture  $\sigma_{\text{Read ADC}}$  sera dominant.

Lorsque les ISO sont élevés l'automatisme de l'appareil (mode priorité) va faire rentrer moins de lumière en jouant sur le couple (tp, N) alors le bruit de lecture  $\sigma_{\text{Read TDN}}$  sera dominant.

Idéalement on va utiliser des ISO bas [41] :

- Afin d'augmenter le SNR en ayant plus de lumière entrante selon les contraintes d'exposition (tp, N)
- Afin que le "Shot Noise" soit dominant dans l'image par rapport au bruit de lecture qui lui est plus voyant dans les parties ombrées

### 4.3 Thermal Noise / Bruit thermique

Une température plus élevée provoque la perte d'électrons des photosites. Cette agitation thermique se produit à plusieurs niveaux :

- Température extérieure comme par temps chaud

— L’ampglow provoquée par l’activité des étages d’amplification

Ce bruit a aléatoire augmente avec le temps de pose.

#### 4.4 Pattern Noise

Le bruit de lecture peut prendre une forme pseudo aléatoire en formant des bandes à l’image.

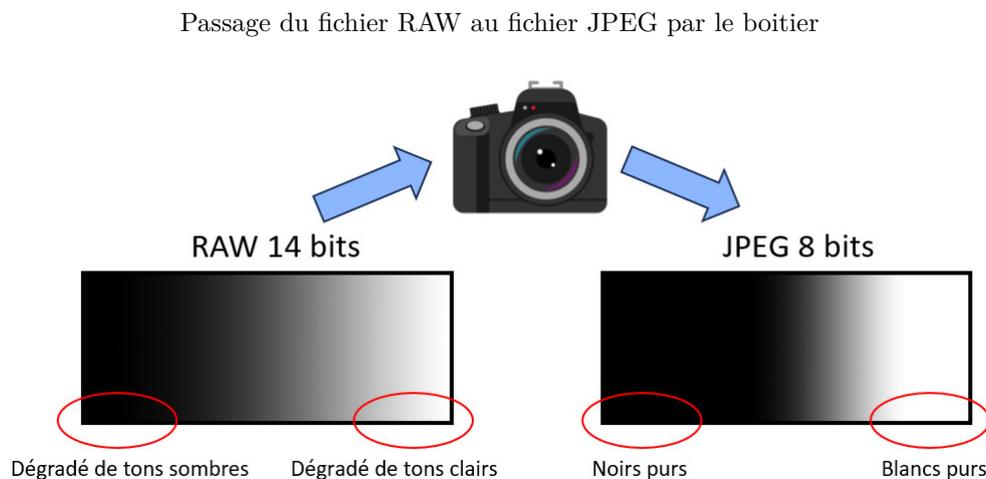
#### 4.5 Logiciels de débruitage

Le débruitage a fait beaucoup de progrès grâce à l’avènement des algorithmes AI entraînés à optimiser l’image selon ce qu’elle représente. Certains logiciels sont dédiés au débruitage sous le contrôle d’une AI : Topaz DeNoise AI, DXO PhotoLab et sont considérés comme les plus performants du marché.

### 5 La dynamique du capteur

#### 5.1 Plage dynamique

Désigne l’ensemble des tonalités possible d’un pixel = “Bit Depth”. Sur une écran LCD les pixels sont codés sur 8 bits et il y a 3 pixels colorés par point image. Cependant les APN modernes sont capable de coder les tonalité du capteur sur 12 bits voir 14 bits. Pour fabriquer une image JPEG affichage sur une écran il faudra réduire le “Bit Depth” (nombre de bits de dynamique) à 8 bits, l’image aura les inconvénients d’une image sortant d’un l’ADC avec un “Bit Depth” de 8 bits seulement [139].



Credit : J.G. Gricourt

Une bonne plage dynamique = large plage permettra notamment d’éviter de brûler les tons clair = “Burn the Highlights” et de boucher les tons sombre = “Block the Shadows”.

Il est donc intéressant de récupérer des images sur 14 bits afin de pouvoir manipuler les tonalités an post traitement afin de profiter de la résolution colorimétrique accrue des tons sombres [70].

Un capteur 8 bits est capable de coder  $2^8 = 256$  tonalités différentes soit 8 paliers distincts ou le passage au palier suivant revient à multiplier par 2 la luminosité du pixel.

Progression des EV avec les tonalités

| Bit | Plages      | Inc. tons        | Exposition $\times 2$ | Plages (*)  | Inc. tons (correction Gamma) |
|-----|-------------|------------------|-----------------------|-------------|------------------------------|
| 1   | [0, 1]      | +1 = 1 - 0       | EV0                   | [0 ... 31]  | +32                          |
| 2   | [0 ... 3]   | +2 = 3 - 1       | EV1                   | [0 ... 63]  | +32                          |
| 3   | [0 ... 7]   | +4 = 7 - 3       | EV2                   | [0 ... 97]  | +32                          |
| 4   | [0 ... 15]  | +8 = 15 - 7      | EV3                   | [0 ... 127] | +32                          |
| 5   | [0 ... 31]  | +16 = 31 - 15    | EV4                   | [0 ... 159] | +32                          |
| 6   | [0 ... 63]  | +32 = 63 - 31    | EV5                   | [0 ... 191] | +32                          |
| 7   | [0 ... 127] | +64 = 127 - 63   | EV6                   | [0 ... 223] | +32                          |
| 8   | [0 ... 255] | +128 = 255 - 127 | EV7                   | [0 ... 255] | +32                          |

Credit : J.G. Gricourt

La plage dynamique DNR maximal de l'APN correspond à l'étendu des tons que l'ADC est capable d'encoder depuis la valeur la plus basse à la plus haute limitée par le nombre de bits de l'ADC. La DNR dépend du nombre de bits de l'ADC. Cependant la DNR est en pratique plus serrée car on ne compte pas le bruit en bas de l'échelle donc la valeur le plus basse n'est pas 0 mais celle du bruit "Noise Floor", on parlera ici d'étendue des tons utiles.

Le DNR est moindre en général pour l'obturation électronique par rapport à l'obturation mécanique.

La DNR maximal exprimée en décibels :  $DNR = 20 \times \log(2^{\text{bits}})$

Exemple :

- Pour un ADC 8 bits :  $DNR = 20 \times \log(2^8) = 48db$
- Pour un ADC 14 bits :  $DNR = 20 \times \log(2^{14}) = 84db$

L'oeil humain à une DNR de 20 EV :  $DNR = 20 \log 2^{20} = 120db$  contre 14 EV pour les meilleur APN. l'oeil est très performant dans la détection des différences de tons dans les basses lumière essentiellement dû aux batonnets. La DNR descend à 12.4 EV de jour [130].

La DNR maximale ne peut être obtenu qu'aux ISO de base [128].

Le capteur numérique réagit à la lumière de manière parfaitement linéaire, ainsi un doublement de la lumière entrante produit un doublement de la luminosité sur l'image finale. La courbe de luminance (tonale curve) est une droite  $y = x$ , l'image générée est dite "plate".

Répartition linéaire des tons



Credit : BenQ

Pour rappel lorsqu'on multiplie par 2 la lumière entrante dans l'APN :

- On incrémente la valeur de l'EV de +1
- On multiplie par 2 le voltage (signal) en sortie du capteur
- On multiplie par 2 la valeur numérique en sortie de l'ADC

En revanche nos yeux réagissent à la lumière de manière logarithmique, ainsi un doublement de la lumière entrante ne produit pas un doublement de la luminosité perçue ou imprimée sur la pellicule au contraire la luminosité perçue est atténuée. L'oeil applique un  $\gamma = 2.2$  lorsqu'il contemple le monde [17]. Nos yeux sont plus performants dans les basses lumières que dans les hautes lumières.

#### Gamma



Credit : [BenQ](#)

On constate sur le tableau que la répartition des tonalités = “Linear Intensity” en sortie de l'ADC n'est pas uniforme sur l'ensemble des EV possibles.

Pour le rendre uniforme il faudrait décaler les tonalités vers la droite afin de rééquilibrer l'image JPEG produite c'est ce que fait le firmware de l'APN en appliquant un  $\gamma = 2.2$ . C'est aussi ce qui sera réalisé manuellement dans DXO PhotoLab lors de l'édition du fichier RAW avec pour valeur  $\gamma = 2.2$  [124].

Avec la correction gamma  $\gamma = 2.2$  la courbe de luminance initialement droite devient incurvée selon la courbe :

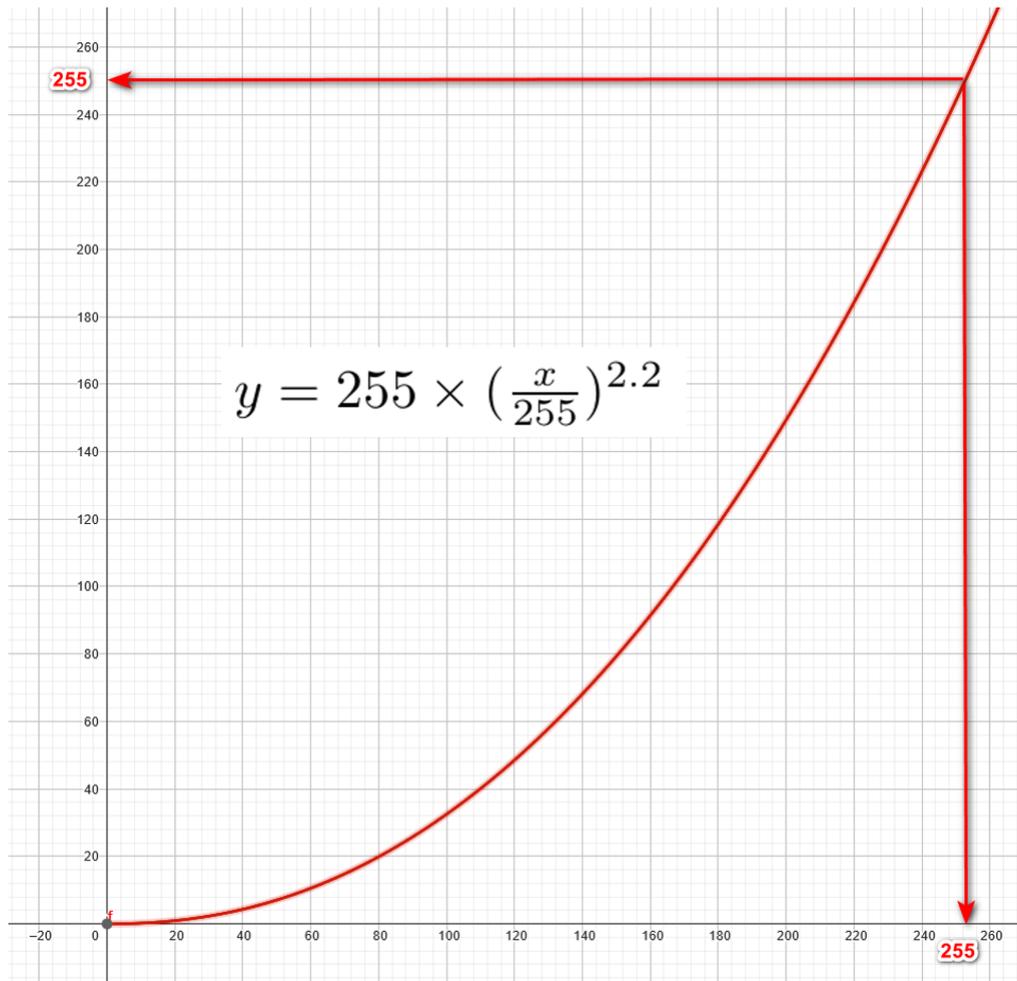
$$y = \text{Response Level}_{\max} \times \left( \frac{x}{\text{Source Level}_{\max}} \right)^{2.2}$$

La courbe gamma est la courbe de luminance d'un écran d'ordinateur, il s'agit d'une transformation des tons montrant une transition plus graduelle (pour notre vision) entre les tons sombres et les tons clairs sur l'écran.

Par exemple sur 256 niveaux de gris :  $y = 255 \times \left( \frac{x}{255} \right)^{2.2}$

L'inverse :  $y = 255 \times 10^{\frac{1}{2.2} \times \log\left(\frac{x}{255}\right)}$

Courbe de tons = "Tonal Curve" (0 - 255)

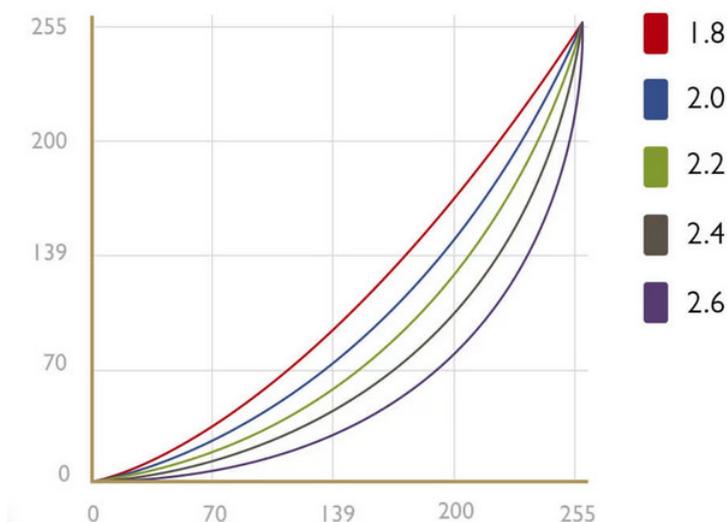


Credit : J.G. Gricourt

Avantage de l'extension de la gamme des tons sombres :

- Cela permet de mieux noyer le bruit dans l'image en l'éclaircissant dès les tons les plus sombres
- Cela permet d'augmenter la résolution des tons sombres au détriment de la résolution des tons clairs
- Cela permet d'éviter la postérisation de zones sombres de l'images par manque de résolution

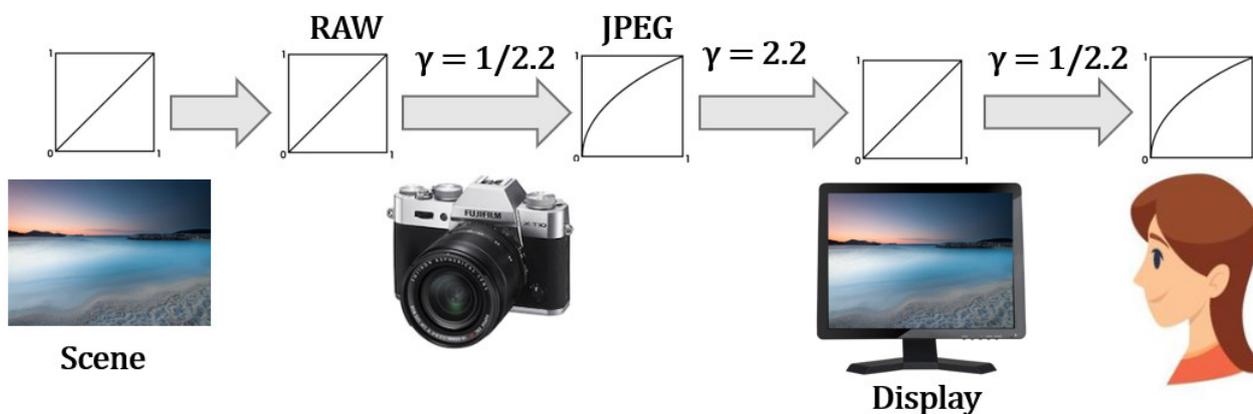
### Gamma values



Credit : BenQ

Les écrans d'ordinateur pour des raisons historiques (depuis les moniteurs CRT) appliquent un gamma de  $\gamma = 2.2$  ce qui rend la linéarité de la luminance à l'image reçue car l'oeil qui appliquera ensuite un  $\gamma = 1/2.2$  [152] pour relever le contraste (les mid-tones).

### Chaîne de transformation gamma



Credit : J.G. Gricourt

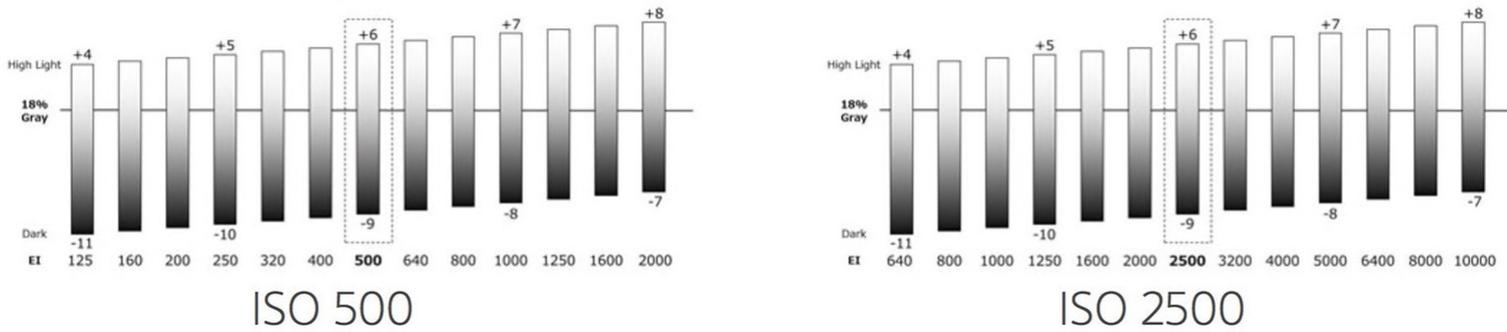
Le calcul du gamma total :  $\gamma_{\text{display}} = \gamma_{\text{JPEG}} \times \gamma_{\text{screen}} = 1.0$

Le négatif produit une courbe de tons possédant un gamma :  $\gamma = 0.7$  et une fois le film développé (positif) la courbe de tons applique un gamma :  $\gamma = 1.4$  donc au finale le gamma du film développé vaut :  $\gamma = 0.7 \times 1.4 = 1.0$  [25].

Lorsqu'on augmente les ISO cela revient à décaler tous les tons vers les tons clairs et donc à donner plus de valeurs possibles (voir plages de stops) au tons clairs et moins de valeurs aux tons sombres et inversement si l'on diminue les ISO [58].

- Pour protéger les tons clairs il est préférable d'utiliser des ISO élevés
- Pour protéger les tons sombres il est préférable d'utiliser des ISO faibles

## Répartition de la dynamique par ISO

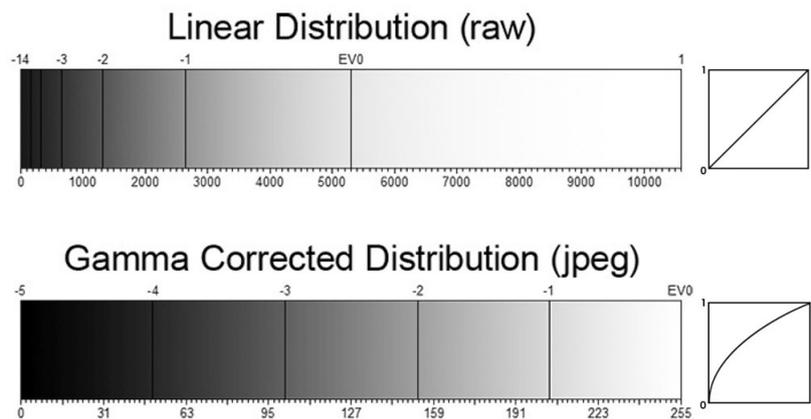


Credit : Sony Cine

Note : ici on a le cas d'un dual ISO de base donc 2 répartitions dynamiques similaires où l'ISO 500 et l'ISO 2500 présente exactement la même DNR [12]

Les fichier RAW sortant du boitier ne sont pas corrigés pour le gamma comme les JPEG, la correction est automatiquement fait dès que le RAW est affiché dans le logiciel de post-traitement tel DXO PhotoLab.

What is “Exposing to the Right” in Photography



A comparison of how data is distributed in a RAW file (linear) versus a JPEG file (gamma corrected).

Credit : Howtogeek

**Fullwell Capacity** La DNR d'une photo correspond à l'étendu des tons encodés dans l'image, une image sans ton noirs “Low Tones” ou une image sans hautes lumières “Hight Tones” possède une DNR faible. Le premier cas correspond à un histogramme décalé tout à gauche et le second correspond à un histogramme décalé tout à droite.

Les APN pro actuels sont capables de reproduire une DNR entre 12 et 15 stops mais à l'ISO de base uniquement. La partie basse des tonalités est en générale noyée dans le bruit [80].

La FWC = “Full Well Capacity” représente le nombre maximum d'électrons que peut contenir 1 pixel sur le capteur photo avant que celui ci ne sature et provoque un effet de “Blooming” sur l'image lorsque les pixels adjacents sont touchés.

La DNR maximale exprimée en décibels :  $DNR (db) = 20 \times \log(FWC/\sigma_{Read\ TDN})$  où  $TDN =$  “Temporal Dark Noise” = nombre d'électrons correspondant au bruit de fond mesuré même en l'absence de signal.

La DNR maximale exprimé en bits de codage (ou EV) [33] :  $DNR \text{ (bits)} = \frac{\log(FWC/\sigma_{\text{Read TDN}})}{\log(2)}$ .

Le nombre total d'électrons correspondant à la FWC réelle permise par l'ADC et selon le gain à l'ISO choisi :  $FWC_g = \text{Gain}_{\text{iso}} \times (2^{\text{bits}} - 1)$  [35]

Le gain de maximum avant de perdre en DNR (clipping des blancs)  $\text{Gain}_{\text{max}} = FWC/(2^{\text{bits}} - 1)$

**QE** La QE = “Quantum Efficiency” d'un capteur est sa capacité à transformer des photons en électrons. Si une quantité de photons  $N_\nu$  incidents est converti en charge électrique  $N_e$  alors :  $QE_\lambda = N_e/N_\nu$ . Une efficacité de 100% signifie que chaque photon incident est converti en 1 électron en sortie. Cette mesure dépend aussi de la longueur d'onde des photons incidents.

**ADU** ADU signifie “Analog Digital Unit” correspond au niveau d'éclairement d'un pixel du capteur exprimé en niveau de gris. Pour un APN codant les pixels sur n bits la valeur maximale de l'ADU vaut :  $ADU_{\text{max}} = 2^{\text{bits}} - 1$

Chaque valeur de ADU est composée du signal et du bruit :  $ADU = ADU_{\text{signal}} + ADU_{\text{noise}}$ .

Le gain procuré par l'ISO est le nombres d'électrons affectés par ADU de l'échelles des valeurs numériques possibles.

## 5.2 Expose to the right

Il s'agit d'une technique = “ETTR qui consiste à exposer la photo de manière à caler la courbe de l'histogramme tout à droite. Le but est ensuite d'abaisser l'exposition en post traitement afin de renforcer les contrastes. Moduler l'exposition en post revient à changer l'amplification appliquée à l'image exactement comme le fera les ISO du boitier lui même (pour les APN ISO invariants).

Une photo prise à ISO 3200 à F/5.6  $t_p = 1/50$  sec sous ETTR sera corrigée en post par exemple en retirant -4EV d'exposition afin de l'assombrir ce qui revient à avoir une luminosité équivalente à une photo prise à ISO 800 dans les mêmes conditions d'exposition, le niveau de bruit sera rigoureusement le même donc il n'y a vraiment aucun gain ici, autant prendre la photo directement à 800 ISO pour éviter de post traiter la photo ensuite! [136]

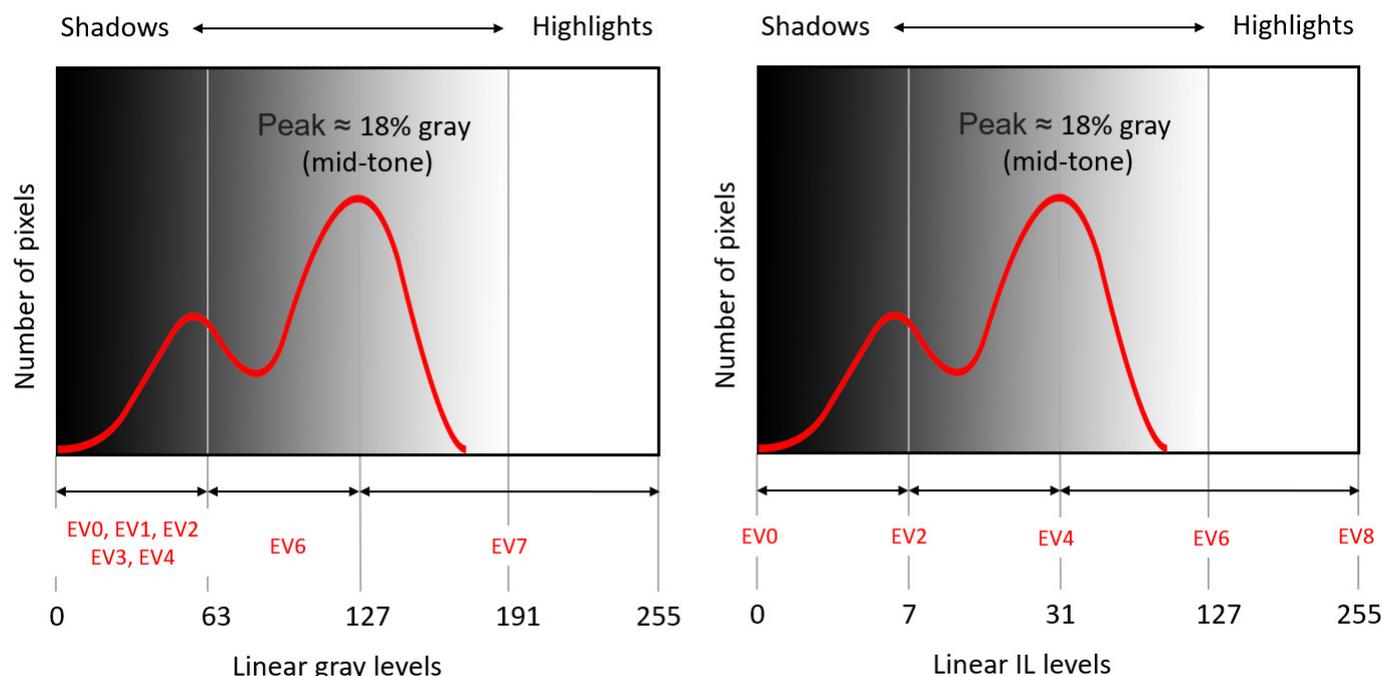
Le technique est surtout profitable aux ISO de base du capteur, là précisément où le bruit est minimal, c'est à dire ISO 100 en général pour le premier ISO de base et peut être ISO 500 pour le second ISO de base [136].

Avantage :

- Cela augmente la DNR de l'image en profitant de toute l'étendue des capacité de codage binaire des tons c'est à dire de remplir toutes les valeurs de 0 à  $2^8 - 1 = 255$  pour un capteur sur 8 bits.
- Cela augmente l'exposition en faisant entrer plus de lumière et donc en diminuant le bruit “Shot Noise” dans l'image [134] ce qui augmentera mécaniquement le rapport SNR de l'image.

La linéarité du capteur dans la prise en compte de la luminosité fait que la résolution des tons clair est nettement supérieure à celle des tons sombres.

## Exposition standard



Credit : J.G. Gricourt

*Note : le niveau de gris affiché sur le premier graphe est supposé gamma corrected car le mid tone correspond vraiment à EV<sub>4</sub> ici*

Par exemple dans le tableau de codage des tonalités sur 8 bits, les tons sombres s'étalent sur  $16+8+4+2+1 = 155$  valeurs différentes ce qui est très peu par rapport aux tons clairs qui disposent de  $32+64+128 = 224$  valeurs différentes. De plus la courbe n'enregistre plus de pixels après EV<sub>6</sub> dans les tons clairs ce sont donc 128 niveaux de gris non remplis et donc gaspillés.

La conséquence est que la moitié des valeurs de tonalité se retrouve dans le dernier stop (8 EV le max de l'exemple) représentant les tons les plus clairs reproductibles par le capteur. Cette manière linéaire d'étaler les tonalités n'est pas conforme à la vision humaine.

Donc lors d'une exposition normale la luminance EV<sub>0</sub> est plus ou moins centrée sur l'histogramme mais il peut y avoir un déséquilibre de quantité d'information dans les tons sombres par rapport aux tons clairs. Pour rappel l'effet le passage de EV<sub>n</sub> à EV<sub>n-1</sub> revient à diviser par 2 le niveau de gris et donc la luminosité.

Pour récupérer de l'information dans les tons sombres il faut exposer à droite c'est à dire sur-exposer légèrement la photo à la prise de vue afin de récupérer de l'information dans les tons sombres lors du traitement du fichier RAW. Il faut aussi veiller à ne pas brûler les blancs (clipping) en exposant trop à droite justement [56] autrement on perdrait définitivement des hautes lumières.

Le fichier JPEG généré par l'APN sera naturellement sur-exposée car il inclue déjà une correction gamma de 2.2 afin d'être affiché sur un écran ensuite (voir explications plus bas). Le fichier RAW par contre est de base très sombres car il ne comprend pas la correction gamma du JPEG.

Cette technique est profitable dans les scènes peu contrastées où le risque lié à la surexposition en pratiquant l'ETTR est

très faible.

Les firmwares permettent aussi de réaliser une adaptation de la DNR intelligente sur l'image et ce avant l'ADC, dans ce cas le fichier RAW est impacté. Cela consiste d'éviter de brûler les hautes lumières = "Blow The Highlights" en appliquant -1 stop de gain (ISO lower) pour ces zones et de déboucher les ombres = "Recover The Shadows" en appliquant +1 stops de gain (ISO higher). Le compromis est d'accepter un peu plus de bruit dans les ombres (ISO supérieur).

Nom de la fonctionnalité selon les marques :

- Nikon : Active D-Lighting
- Canon : Auto Lighting Optimizer (ALO)
- Fujifilm : Dynamic Range (D-Rng)

### 5.3 Expose to the right règle +1.33 IL

Cette règle indique qu'il faut prendre la mesure de l'exposition au posemètre (lumière incidente) et rajouter +1.33 IL à la valeur indiquée pour exposer sa photo afin de décaler l'histogramme à droite (ETTR) pour mieux révéler les ombres et sans brûler les blancs du moins en théorie [18, 19].

On suppose que le capteur prend des niveaux de gris sur 14 bits soit  $2^{14} = 16384$  niveaux. Si dans la scène photographiée un élément est blanc et que l'on mesure les 3 niveaux de gris des 3 couleurs RVB composant ce blanc. Si on veut qu'une des couleurs sature le capteur jusqu'au 16 383 ième niveau alors il faudra corriger l'exposition selon le calcul suivant :  $EV = \log_2 \text{Pixel}_{\max} - \log_2 \text{Pixel}_{\text{couleur}}$ . En général avec la plupart des boîtiers c'est en prenant le bleu comme référence que la correction sera la plus importante donc si le niveau de gris du bleu vaut 6 500 dans une zone blanche de la photo alors la correction sera de :  $EV = 14 - \log_2 6500 = +1.33EV$ .

Cette méthode doit prendre en compte le matériel utilisé et le facteur de correction d'exposition aura une valeur différente (+1 IL par ex) selon la sensibilité du capteur aux différentes couleurs. De plus cette règle sera plus adaptée en studio où les éclairages sont parfaitement maîtrisés alors qu'en extérieurs la lumière incidente n'est pas la même selon la position de l'observateur et celle-ci peut varier de plusieurs IL en fonction des nuages qui passent. Le plus sûr sera d'exploiter l'histogramme en live dans le viseur de l'APN.

## 6 Les capteurs APS-C

Les APN à capteur APS-C [66] présentent des caractéristiques uniques offrant des avantages bien spécifiques par rapport aux APN "Full Frame". Il s'agit d'un type d'appareil unique offrant des avantages par rapport aux boîtiers "Full Frame" tout en ayant quelques limitations mais la technologie avançant très vite celle-ci tendent à se gommer d'années en années.

### 6.1 Les différences liées au cadrage

Le cercle de lumière projeté par l'objectif sur le capteur APSC est plus petit que celui projeté sur les capteurs FF, ce qui nécessite des objectifs avec des lentilles moins large que sur FF.

A une ouverture donnée, un 50mm sur APS-C montre exactement le même fond flou (DOF = Deep Of Field) que ce même 50mm sur FF, la seule différence est que le champ reproduit sur APS-C est équivalent à un 75mm sur FF.

Si l'on veut obtenir le cadrage d'un objectif 75mm FF avec un 50mm APSC il faudra alors reculer l'APSC ce qui rendra alors le fond encore moins flou [99]. Et si les ouvertures des 2 objectifs sont les mêmes alors l'objectif APSC sera aussi lumineux mais avec plus de profondeur de champs visible dans l'image. Pour obtenir la même profondeur de champ avec le FF il faudra fermer un peu l'ouverture de l'objectif! En conséquence lorsque les conditions sont très lumineuses il faudra utiliser

des vitesses plus rapides avec l'APSC et si les conditions sont moins lumineuses par exemple en Studio il y aura moins besoin de faire usage de flash [100, 101].

Lorsqu'on utilise un objectif FF sur un appareil photo APS-C seule la partie centrale du cercle image est projeté sur le capteur et donc les aberrations et déformations visibles habituellement vers le bord de l'image en FF sont absent sur la photo issue de l'APS-C.

- Il est plus facile de fabriquer des objectifs destiné aux APS-C d'excellente qualité optique de bord à bord car les lentilles sont moins large.
- A cadrage égale les objectifs pour APS-C sont notoirement moins encombrants et moins lourds que les objectifs de focale équivalente en FF
- A focale et distance égale l'APS-C reproduit un champ plus étroit, donc un 16mm devient un 24mm, un 35mm devient un 52mm, un 50mm devient un 75mm
- A cadrage et ouverture égales l'APS-C montre un fond moins flou que le FF.
- Le 50mm sur APS-C devra être 1.5 EV<sup>3</sup> plus lumineux que le 75mm sur FF pour obtenir un fond flou équivalent pour un cadrage égal, par ex : 50mm F/1.2 sur APS-C et un 75mm F/2.8 sur FF sont parfaitement équivalents
- Un objectif APS-C F/2.8 sera aussi lumineux qu'un objectif FF F/2.8
- Lorsqu'on veut rendre net un groupe de personne (wedding) on doit fermer peu l'objectif et au final l'objectif APS-C sera encore 1.5 EV plus lumineux que l'objectif FF équivalent dans les mêmes conditions [66]

## 6.2 Conséquence de la plus grande densité de pixels

Ici on compare des capteurs APSC / fullframe dont le nombre de mégapixels sont égaux.

- Les capteurs APSC présentent une montée en ISO moins bonne que les FF à exposition constante =  $(N, tp)$
- Les capteurs APSC présentent une DNR maximum moins grande de 1 EV par rapport aux FF en raison de de la FWC = "Fullwell Capacity" plus faible = moins d'électron et moins de ton gris (ADU) convertis.
- Les capteurs Fullframe ne permettent un échantillonnage correcte que lorsque qu'on ferme le diaphragme ( $N > 5.6$ ) car la figure de Airy sera plus large est donc plus facile à reproduire sur une capteur à densité en pixels plus faible.

## 6.3 Performances en basse luminosité

Ici on compare des capteurs APSC / fullframe dont le nombre de mégapixels sont égaux.

- Les APS-C sont légèrement moins performant en basse lumière que les FF, les pixels étant plus petits alors à exposition constante =  $(N, tp)$  le SNR sera un peu plus faible (avant amplification ISO). De même que la DNR sera moins étendue d'1 EV environ que les FF pour les mêmes raisons (rattrapage des photos sombres en post traitement). Attention un APS-C de 40 Mpixels sera malgré tout meilleurs en résolution qu'un capteur FF de 20 Mpixels [146, 82, 52].
- Etant donnée que les objectifs sont plus petits par construction il est possible de produire des objectif à ouverture maximale très grande tel que F/1.4, F/1.2, F/1.0 et donc malgré tout aussi performant en basse luminosité que les FF.

Cependant on ne verra pas de différence avec une image soit imprimée soit affichée sur un grand écran. Enfin lorsque l'impression ou l'écran d'affichage deviennent encore plus grands encore c'est la résolution du capteur en pixel qui prime sur le bruit pour la qualité d'image visualisée à courte distance. Le bruit peut aussi désormais être quasiment éliminé avec les outils de traitement d'image modernes.

---

3. Voir "Crop Factor"

## 6.4 Performance des capteurs à hautes densité en pixels

Contrairement à la croyance, l'expérience montre que plus la densité en pixels est importante meilleure sera la résolution même en basse luminosité sans post traitement [146, 82, 52]. Lorsque l'on traite la photo avec un outil à base d'IA ou simplement un outil de réduction de bruit (luminance et couleur) on obtient des images avec une meilleure résolution avec l'APN à haute densité de pixels qu'avec l'APN à faible densité de pixels. Au final même un capteur FF de 45 Mpx sera plus performant en basse luminosité du point de vue de la résolution globale qu'un capteur FF de 12 Mpx seulement. Le post traitement sur un logiciels performant par exemple sur DXO PhotoLab permettra de traiter le bruit de manière optimale pour faire ressortir tous les détails contenus dans l'image [146, 82, 52]

## 6.5 Encombrement / poids / prix

- Les boîtiers APS-C sont en général moins volumineux et plus légers, si ceci est vrai chez Fujifilm pour la gamme XT mais est moins évident pour les derniers X-H2 / XH-2S où l'ergonomie et la prise en main plus confortable de type "Reflex" a été privilégié [13]
- Les objectifs sont toujours moins volumineux et plus léger si on les compare aux objectifs FF à focale, ouverture maximum et qualité d'image égales
- Le prix des objectifs APS-C à qualité optique égale sont nettement moins cher car l'image produite doit couvrir une surface de capteur plus réduite et ne nécessite donc pas de lentilles larges plus difficile à polir.

Comparatif objectifs Fujifilm / Canon

| Objectif Fujifilm            | Objectif Canon       | Perte IL | Gain Poids | Différence Prix (2023) |
|------------------------------|----------------------|----------|------------|------------------------|
| Fujinon XF 33mm F1.4 R LM WR | Canon RF 50mm F1.2L  | -1.5 EV  | -0.6kg     | -1 900€                |
| Fujinon XF 56mm F1.2 R WR    | Canon RF 85mm F1.2L  | -1 EV    | -0.8kg     | -2 100€                |
| Fujinon XF 90mm F2 R LM      | Canon RF 135mm F1.8L | -1.25 EV | -0.4kg     | -1 780€                |
| Fujinon XF 200mm F2 OIS WR   | Canon EF 300mm F2.8L | +2 EV    | -0.1kg     | -1 500€                |

## 6.6 Usage de prédilection

- Adapté pour la photo sportive, la photo animalière où l'effet télé-objectif = "Crop Factor" est important
- Adapté pour la macrophoto où la profondeur de champ est plus importante à même focale
- Adapté au voyage car à focal équivalente (cadrage) les objectifs des APS-C sont plus petits et beaucoup moins lourds
- Du côté de la marque Fujifilm ayant investi massivement dans l'APS-C, les images JPG dites "SOOC" ont un rendu des couleurs plus juste, les appareils photos permettent des simulations de film argentique

## 7 Macrophoto

La macro photo consiste à prendre des sujet de très près afin que leur image sur le capteur soit aussi proche de leur taille réelle soit un rapport de reproduction de "1 pour 1", soit 1 cm dans la réalité correspondra à 1 cm sur le capteur, cette dimension sur le capteur est déterminée par le calcul du grandissement de l'image. Certains objectifs non macro permettent de se rapprocher du sujet sans arriver au rapport 1 :1 car pour cela il faut un véritable objectif macro constitué de 2 groupes de lentilles activés par l'automatisme selon la distance du sujet.

Autres manières de faire de la macro sans objectif macro :

- Lentille bonnette grossissante à fixer devant l'objectif non macro
- Bague allonge à fixer derrière l'objectif non macro

Inconvénient de la macro avec des bagues (voir calculs dans le document photo.pdf) :

- La zone de netteté devient d'autant plus faible que l'allonge procurée par la bague est grande, la mise au point ne peut se faire que manuellement
- L'ouverture résultante diminue avec le grandissement donc la luminosité de l'image diminue fortement

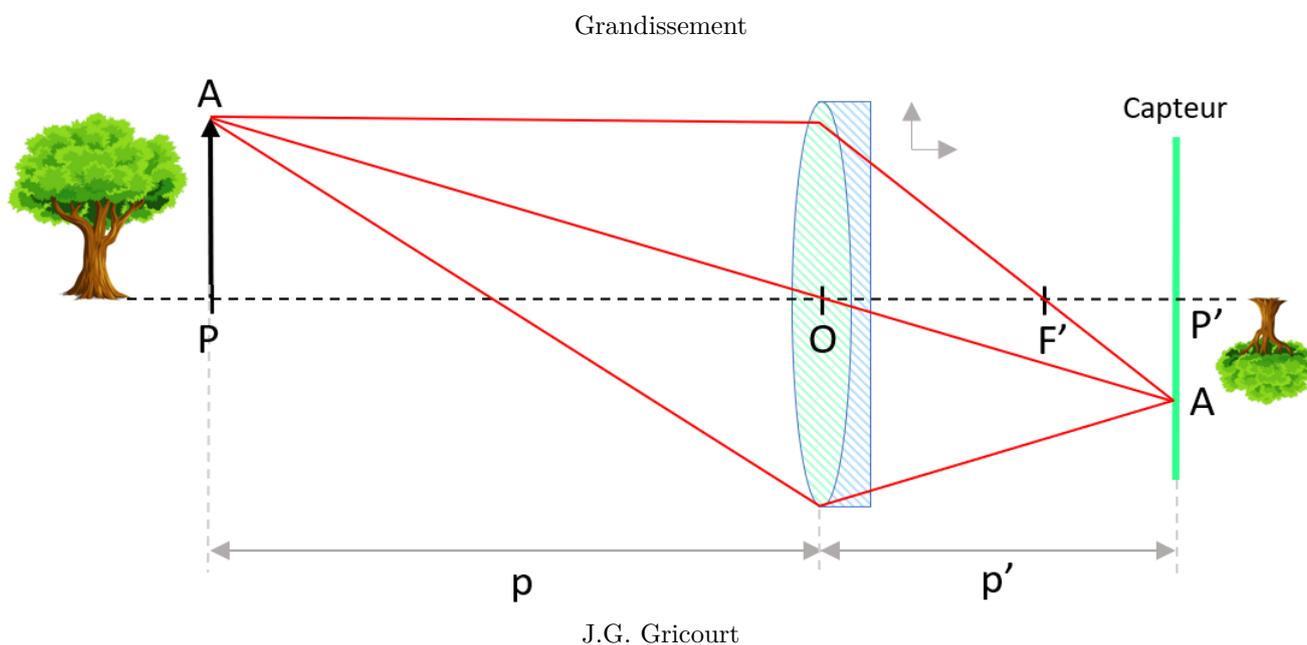
La distance de mise au point est une caractéristique importante de l'objectif macro car celle ci indique la distance du sujet au capteur pour avoir le rapport de reproduction de 1 :1. Au delà de cette distance le rapport est plus faible. Avec le rapport 1 :1 la distance du sujet à la lentille frontale peut encore être plus courte étant donnée la longueur de l'objectif à retrancher à la distance de mise au point, ce qui fait que l'usage des différents objectifs macro peut être vraiment différent :

- Avec une distance de mise au point de 25cm et plus on parle de télé-objectif macro permettant de capturer des insectes en mouvement tout en restant à distance
- Avec une distance de mise au point inférieure à 25cm on parle d'objectif macro plus destiné au nature morte (culinaire) et à la photo culinaire ou de petits objets.

Autres caractéristiques :

- Mise au point plus lente (2 groupes de lentilles)
- Excellent piqué
- Pas d'aberration chromatique

**Calcul du recule** Le recule  $p'$  du capteur en fonction de la distance du sujet.



La relation de conjugaison d'applique ici :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\overline{OP'}} - \frac{1}{\overline{OP}} &= \frac{1}{\overline{OF'}} \\ \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{p'} &= \frac{1}{f} - \frac{1}{p} \\ p' &= \frac{pf}{p-f} \\ p' &= \frac{f}{1-f/p} \end{aligned}$$

Lorsque le sujet à une distance  $p = \infty$  alors :  $p' = f$

**Calcul du grandissement** Le grandissement  $G$  est la dimension de l'objet sur le capteur et dépend de la capacité de l'objectif se rapprocher de l'objet photographier et de l'APN de capturer l'image qui dans de cas d'une lentille simple reculerait à mesure que l'on se rapproche de l'objet.

Si on considère les triangle homothétique suivants (A,P,O) et (A,P',O) on peut appliquer le théorème de Thalès :

$$\begin{aligned} \frac{\overline{P'A}}{\overline{PA}} &= \frac{\overline{OP'}}{\overline{OP}} \\ G = p'/p \quad \text{or} \quad p' &= \frac{pf}{p-f} \\ G &= \frac{f}{p-f} \end{aligned}$$

Le grandissement vaut 1 :1 si :  $p = 2f$

L'ouverture vaut :  $N_2 = p'/D$  :

$$\begin{aligned} G &= \frac{f}{p-f} \quad \text{or} \quad G = p'/p \\ G &= \frac{f}{p'/G - f} \\ 1 &= \frac{f}{p' - fG} \\ p' &= (G+1)f \quad \text{or} \quad N_2 = p'/D \\ N_2 &= \frac{(G+1)f}{D} \quad \text{or} \quad N_1 = f/D \\ N_2 &= (G+1)N_1 \end{aligned}$$

Conclusion : en macrophoto l'éclairément est plus faible que laisse penser l'ouverture  $f/D$  classique car le sujet est proche de

l'APN (G n'est plus négligeable).

## 8 Les couleurs et la résolution

### 8.1 Les couleurs

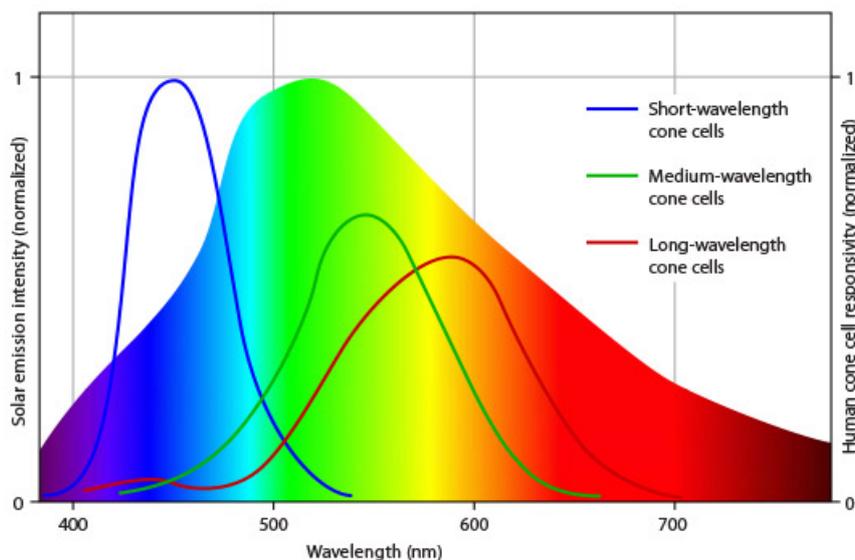
D'abord Les couleurs n'existent que parce que l'on peut les voir sinon ce ne sont que des photons de longueurs d'onde particulières auxquels nos yeux sont sensibles. Nos yeux ne captent et les cônes en particulier captent chacun l'ensemble des longueurs d'onde du spectre visible dont les couleurs pures Rouge, Vert et Bleu. On appellera les 3 type de cône :

- Cône S = "Short Wave" dont le pic de sensibilité se situe à 420 nm (bleu)
- Cône M = "Medium Wave" dont le pic de sensibilité se situe à 533 nm (vert)
- Cône L = "Large Wave" dont le pic de sensibilité se situe à 533 nm (jaune / orange)

C'est au moment du traitement de la libération des neurotransmetteurs après excitation des cônes par les photons que le cerveau interprètera ces combinaisons de ces stimuli produits par chaque cônes S, M, L. C'est précisément par la synthèse additive RVB que l'apparence des couleurs sera complètement reconstituée.

La sensibilité des différents types de cône est aussi très inégale :

Solar emission intensity compared to human eye sensitivity



Credit : Douglas Clark

On voit d'après le graphe que même si la sensibilité dans le vert est moindre que dans le bleu, il ya plus de cônes vert que de cône bleu et c'est dans la lumière verte la plus dominante dans le spectre solaire que au global on sera le plus sensible.

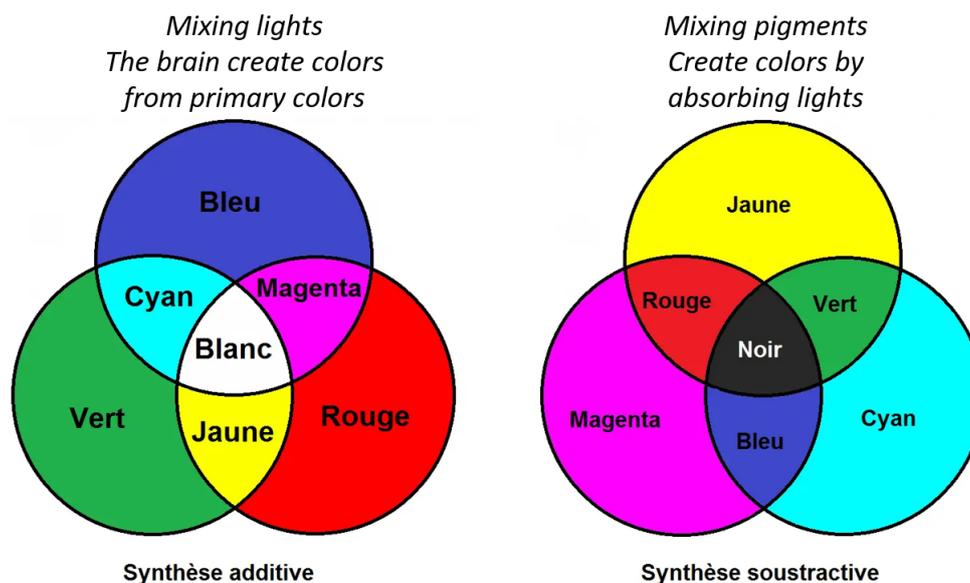
La proportion de chaque type de cône est aussi très inégale :

- 1 cône S - 2%
- 5 cônes M - 32%
- 10 cônes L - 64%

Les cônes au global ne représentent que 5% des photo-récepteurs de la rétine, le reste sont des baronnets sensibles à la

luminosité uniquement.

### Synthèse additive RVB / Synthèse soustractive CMJB



Credit : Yann - Superprof

Toutes les couleurs de base ainsi que celles reconstruites par synthèse additive possèdent leur propre longueur d'onde sauf la couleur magenta qui n'existe que dans notre cerveau. Donc notre vue voit le même Jaune lorsque celui-ci est pure c'est à dire dans la plage [565-590 nm] que celui-ci est formé uniquement par l'addition (cerveau) de Rouge [635 - 770 nm] et de Vert [520 - 565 nm]. Pareillement notre vue voit le même Cyan lorsque celui-ci est pure c'est à dire dans la plage [500-520 nm] que celui-ci est formé uniquement par l'addition (cerveau) de Vert [520 - 565 nm] et de Bleu [450 - 500 nm]. Enfin lorsque toutes les longueurs d'onde du spectre solaire sont envoyés dans l'oeil (le rayonnement solaire) nous voyons du blanc pur et de la même manière le blanc pur pourra aussi être formé à partir des 3 couleurs de base monochromatique Rouge, Vert et Bleu [2]. Tout ceci est vrai tant que l'on reste dans le domaine de la vision photonique c'est à dire diurne car dans le domaine de la vision scotopique (de nuit) le rendu des couleurs change, voir l'effet "Bezold-Brücke-shift".

Les imprimantes utilisent la synthèse soustractive afin de reconstituer les couleurs sur une page blanche d'origine car chaque pigment Magenta, Jaune et Cyan agissent comme un filtre en absorbant certaines couleurs. Le pigment Magenta absorbe le vert et diffuse le bleu et le rouge, le pigment Jaune absorbe le bleu et diffuse le vert et le rouge, le pigment Cyan absorbe le Rouge et diffuse le bleu et le vert. Si l'on combine les 3 pigments ensemble on obtient bien l'absence des 3 couleurs de base RVB donc du noir [1]. Le pigment Noir lui absorbe les 3 couleurs RVB.

En pratique on constatera :

- Les cônes Rouges et Verts sont activés avec la même intensité si ils sont soumis à une lumière monochromatique jaune ou à un mélange de lumières monochromatiques rouge et verte.
- Les cônes Bleu et Vert sont activés avec la même intensité si ils sont soumis à une lumière monochromatique cyan ou à un mélange de lumières monochromatiques rouge et verte
- Les cônes Bleu et Rouge ne sont quant à eux activés que par la présence du mélange de lumières monochromatiques bleu et rouge car la lumière monochromatique magenta n'existe pas.

Les couleurs se définissent aussi selon 3 critères [132] :

- La teinte = c'est la couleur de base parmi les couleurs de l'arc-en-ciel, c'est en réalité un continuum il y a une infinité de teinte
- La clarté = indique une couleur claire (proche du blanc) ou sombre (proche du noir)
- La saturation = indique une couleur vive ou terne

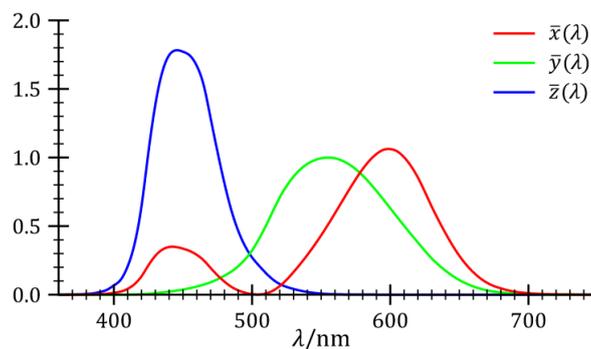
## 8.2 Espace colorimétrique

Une photo couleur encodée sur 8 bits pour chaque couleur de base RGB peut produire 16.7 millions de combinaisons différentes mais seul un sous ensemble pourra être retranscrite correctement sur un écran ou une imprimante. Une valeur triplet RGB aquire depuis un capteur doit être traduite en une couleur dans un référentiel que l'on appel espace colorimétrique. Ainsi un vert théorique (0, 1, 0) peut correspondre à plusieurs verts selon l'appareil qui les produit et donc selon l'espace colorimétrique associé à cet appareil.

Un espace colorimétrique ou un profile colorimétrique désigne un ensemble de couleur qu'un capteur, un écran ou une imprimante sera capable de reproduire. Un fichier JPEG qui est un format d'affichage contient l'information des couleurs et un espace colorimétrique afin de positionner le triplet RGB sur une couleur précise. Le fichier RAW qui est le format de l'image brut sortant du capteur ne contient pas de triplet RGB car il s'agit d'une mosaïque (Bayer ou X-Trans) qu'il faudra dématricer afin de déterminer le triplet RGB de chaque pixels. Les appareils utilisant le même profil colorimétriques montreront les couleurs de la photo de manière identiques avec très peu de dérive colorimétrique au final.

Un gamut = espace colorimétrique est un sous ensemble de couleur dans l'espace originel CIE xyY et caractérisant les couleurs que peut produire ou capter un appareil. Le gamut représenté par CIE XYZ est celui de la vision humaine.

Sensibilité spectrale humaine



Credit : UVED

Le schéma ci-dessus montre la sensibilité humaine selon 3 primaires XYZ servant de base à l'espace colorimétrique CIE XYZ (1931). Il est possible de prendre en entrée d'autre primaires comme RGB (plus classique) ou LMS pour tracer ce schéma.

Espaces colorimétriques les plus connus :

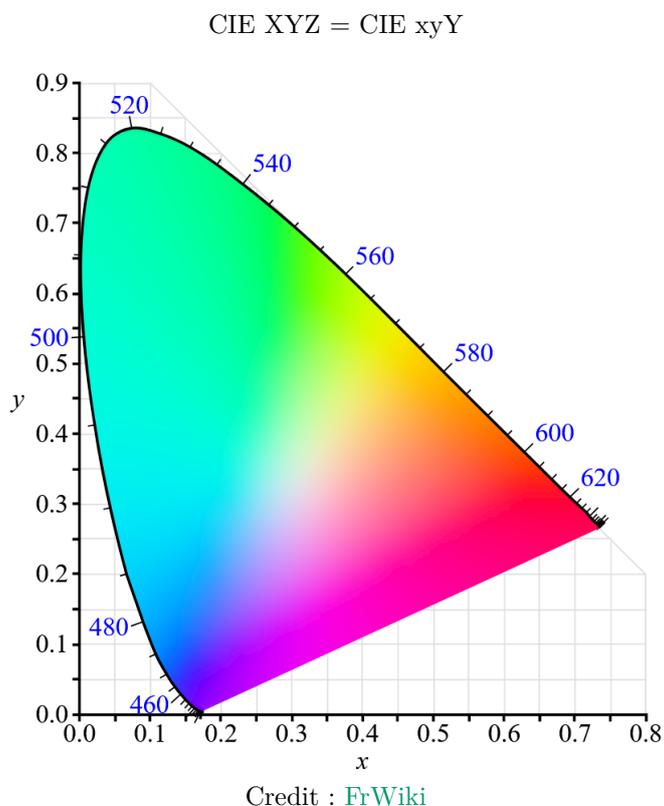
- sRGB : est un espace reconnu par les écrans d'affichage de PC et les imprimantes grand public
- AdobeRGB : est un espace qui peut être traduit directement dans l'espace CMJN des imprimantes professionnelles

Si on imprime une image encodée en sRGB sur une imprimante professionnelle il y aura une dérive chromatique importante et inversement si on affiche une image AdobeRGB sur un écran les couleurs seront délavées. Cependant on préférera utiliser le profile sRGB à la prise de vue pour le format JPEG car celui ci est compatible avec la plupart des appareils du marché.

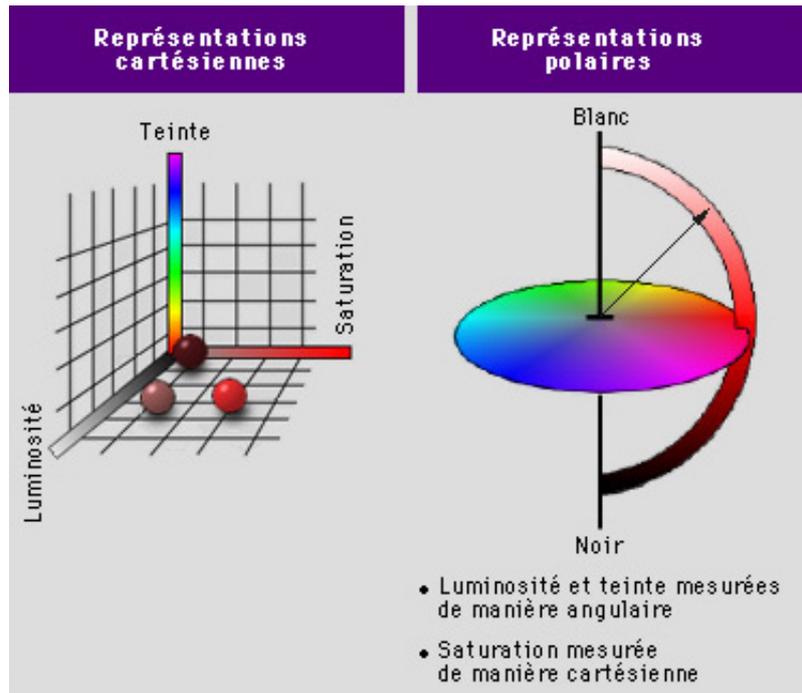
Le modèle CIE XYZ (1931) est un modèle colorimétrique de référence basé sur la perception humaine des couleurs standardisée. Il existe d'autres représentations de cet espace qui peuvent être calculés / déduit du CIE XYZ (1931) par conversion [92] :

- CIE XYZ (1931)  $\implies$  CIE RGB = espace plus ancien inclu maintenant dans CIE XYZ
- CIE XYZ (1931)  $\implies$  CIE xyY
- CIE XYZ (1931)  $\implies$  CIE LMS
- CIE XYZ (1931)  $\implies$  CIE L\*a\*b\* (1976) = caractérise les couleurs des surfaces
- CIE XYZ (1931)  $\implies$  CIE L\*u\*v\* (1976) = YUV caractérise les couleurs des écrans

Note :  $Y = L^*$  = Luminance = Luma (donne la clarté),  $(x,y) = (a^*,b^*)$  = Chromacité = Chrominance (donne la teinte et la saturation), et spécifiquement pour le CIE L\*a\*b\* on trouve  $a^* \in [-60 = \text{vert}, 0 = \text{gris}, +60 = \text{rouge}]$ ,  $b^* \in [-60 = \text{bleu}, 0 = \text{gris}, +60 = \text{jaune}]$



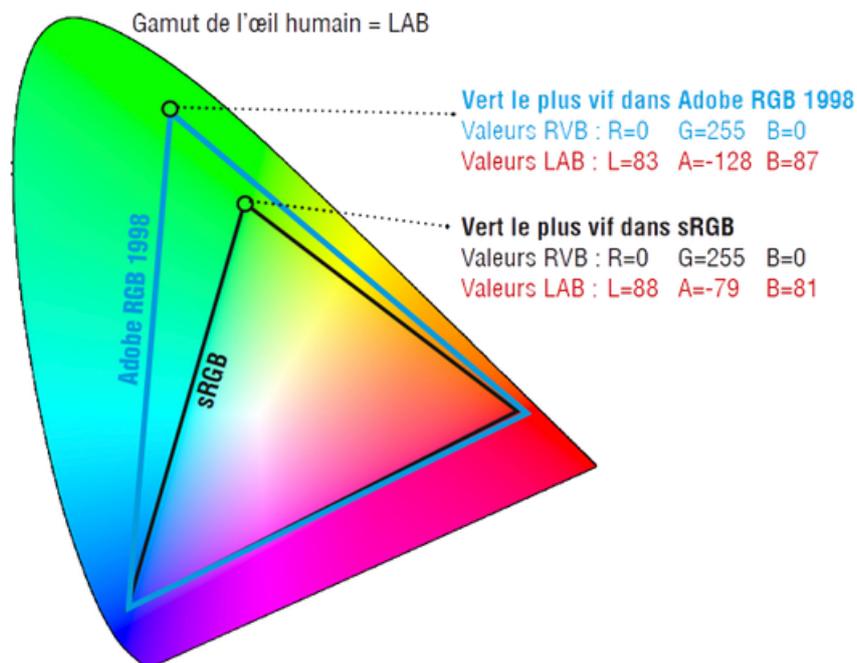
Représentation du CIE L\*a\*b\* plus utilisé dans l'industrie des pigments de couleur car plus uniforme pour calculer l'écart entre les couleurs :



Credit : Tecfa

Les couleurs aux bords du CIE XYZ sont des couleurs pures de longueur d'onde connues et indiquées ici pour certaines. Les points extrêmes d'un triangle représentant un sous-espace colorimétrique du CIE XYZ correspondent aux triplets : RGB (0,1,0), RGB (1,0,0), RGB (0,0,1) et pointe sur une couleur précise dans l'espace CIE XYZ qui peut être différente pour un autre triangle sous-espace colorimétrique.

Exemple d'utilisation du CIE XYZ = CIE xyY



Credit : Typocentre

La bonne couleur attendue doit être traduite de sa valeur l'espace absolu CIE dans une valeur (R,G,B) pour être affichée sur un écran ou une valeur (C,M,J,N) pour être imprimée par une imprimante. Le profile ICC inclu dans un fichier image produit par l'appareil ou sélectionné dans un logiciel est une table de correspondance permettant de savoir à quelle coordonnée Lab de CIE une valeur (R,G,B) ou (C,M,J,N) (imprimante) du fichier. Ce profile permet d'afficher correctement le fichier image sur un écran ou de l'imprimer correctement avec une imprimante [149].

### 8.3 Luminance

Le calcul de la Luminance est une fonction des niveaux des 3 couleurs (R,G,B) [109].

Le calcul de la Luminance se fait en plusieurs étape à partir des couleurs (Red, Green, Blue) capturées :

Convertir les couleurs dans la plage  $[0, 1[$  :  $R = \mathbf{Red}/255, G = \mathbf{Green}/255, B = \mathbf{Blue}/255$

Linéariser les couleurs car celle ci sont Gamma encoded afin d'obtenir les couleurs linéarisées suivantes :  $(R_l, G_l, B_l)$

---

```
function sRGBtoLinear(colorChannel) {
  if ( colorChannel <= 0.04045 ) {
    return colorChannel / 12.92;
  } else {
    return pow((( colorChannel + 0.055)/1.055),2.4);
  }
}
```

---

Calculer enfin la Luminance :  $Y = R_l * 0.2126 + G_l * 0.7152 + B_l * 0.0722$

*Note : la Luma est la luminance Gamma encoded mais celle ci est parfois confondue avec cette dernière dans les écrit.*

### 8.4 CFA

Désigne “Color Filter Array” désigne la matrice des photosites colorés du capteur photo.

### 8.5 Le codage vidéo

Le codage de la vidéo répond à des contraintes de taille de fichier qu'il faut limiter en raison de l'espace de stockage et de la puissance de traitement des ordinateurs. Une vidéo n'est donc pas un succession de photos pleine résolution en pixel et en couleur capturé à la fréquence de 60 images par seconde. L'enregistrement vidéo doit faire des compromis sur la résolution et la qualité de l'enregistrement.

Plusieurs codecs existent et parmi les plus courant il y a le “4 :2 :2” 10 bits 4K 120P. Il fait référence au codec “Chroma Subsampling” où l'économie est réalisée sur la Chrominance. La valeur 10 bits indique la profondeur de l'encoding des couleurs, le minimum est 8 bits. Le 4K indique la résolution de la vidéo et le 120P indique le nombre d'images par seconde de la vidéo.

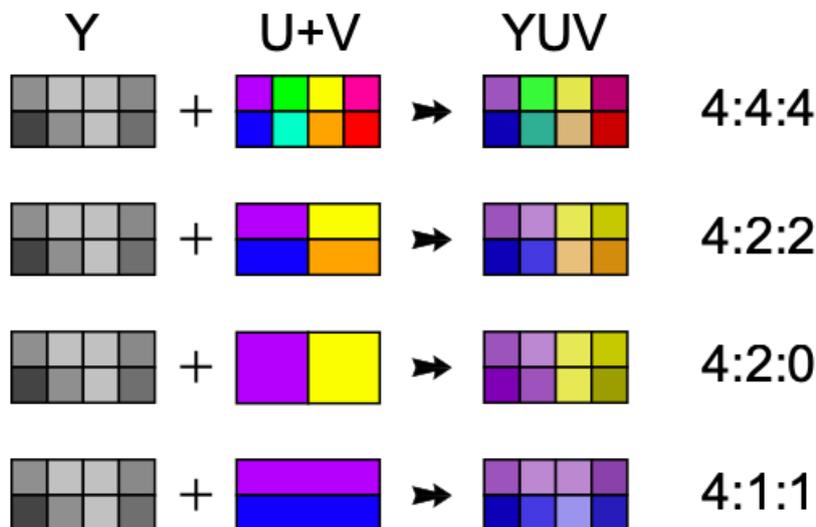
Rappel du modèle de couleur YUV ou YCbCr :

- La Luma est la valeur Y
- La Chrominance est le couple (U,V) où  $U = Cb = \text{blue} - Y$  et  $V = Cr = \text{red} - Y$

Chaque case de la matrice “U+V” du schéma représente un tuple de chrominance (U,V).

Le passage du vecteur (Y, U, V) dans l'espace de couleur YUV au vecteur de couleurs (R, G, B) se fait au moyen d'une matrice.

#### Chroma Sampling



Credit : [Blog Naver](#)

Dans le codec “4 :2 :2” sur 8 pixels de la matrice du capteur on garde les 8 pixels de luminance par contre on ne gardera que 1 pixels sur 2 pour la chrominance [115]. Le résultat de la recombinaison des pixels à partir de la luminance et de la chrominance produira un version dégradée des couleurs originales qui sera acceptable car invisible pour l'oeil.

## 8.6 La matrice de Bayer

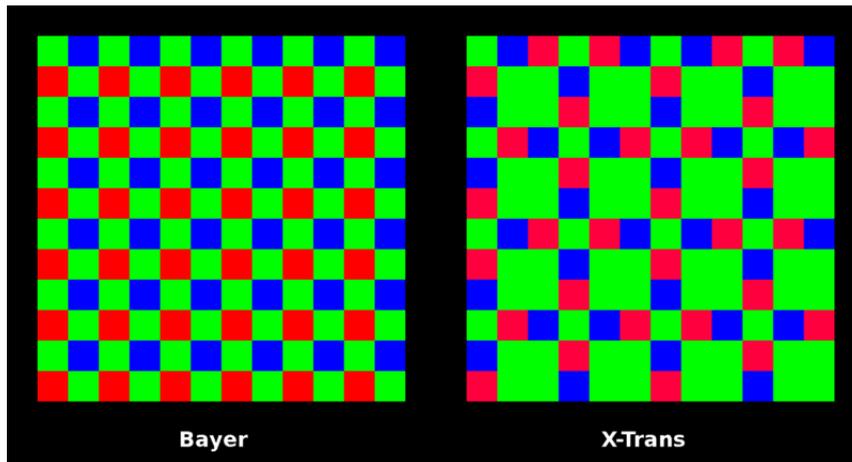
Un capteur photo est monochrome et ne sait reproduire que des nuances de gris issues de la conversion par l'ADC du voltage de chaque photosite en valeur numérique. La matrice de Bayer est le filtre / grille coloré apposé au dessus des photosites du capteur. Les pixels colorés de l'image sont recrées via un algorithme utilisant les informations de cette grille, c'est l'opération de débayerisation / dématricage opérée par le firmware de l'APN pour produire un fichier JPEG. Le fichier RAW quant à lui n'est pas débayerisé c'est au logiciel de post-traitement de le faire [38].

Les filtres au dessus du capteur :

- Filtre IR-Cut permet de supprimer les fréquences IR pour lesquels l'oeil humain est insensible, ce filtre est à retirer pour l'astrophoto Ha
- Filtre anti-aliasing = “Low Pass Filter” : permet d'éliminer les effets de moirés dans l'image mais à partir de 40Mpx ce filtre n'est plus utilisé en général
- La grille MLA = “Micror Lense Array” pour concentrer plus de lumière sur les photosites
- La matrice CFA = “Color Filter Array” (voir matrice de Bayer) permettant d'exposer les photosites pour les couleurs de base : rouge, vert, bleu

**Matrice de Bayer classique** La matrice de bayer comporte 2 fois plus de pixels verts que les autres couleurs car les capteurs photo et l'oeil humain sont plus sensibles au vert qu'aux autres couleurs. Avec une matrice de Bayer classique on perdra 30% de résolution en passant des photosites aux pixels et 50% de la lumière incidente.

## Matrices de Bayer & X-Trans



Credit : Petapixel

**X-Trans de Fujifilm** Cette matrice 6x6 est différente de la classique matrice de Bayer 2x2 (CFA) car les couleurs de base rouge, vert bleu, sont répartis de manière plus aléatoires afin d'atténuer fortement l'effet de moiré = "Aliasing" ce qui rend alors le filtre anti-moiré = "Anti-Aliasing" superflu sur ce capteur. Cependant avec les capteurs à hautes résolutions actuels ce type de matrice n'est plus justifié. Ce format de matrice nécessite aussi plus de puissance de calcul afin d'être dé-matricé = processus de calcul des pixels colorés de l'image.

Cependant dans les anciennes versions FSO du capteur Fujifilm cette matrice peut présenter des défauts de colorimétrie et l'apparition de pattern dans les flares et donc en contre jour [84, 85].

Il est important d'utiliser les bons logiciels de dématricage du fichier RAW sortant des capteurs X-Trans. Autrefois peu de logiciels supportaient correctement le format X-Trans. Un des artefacts les plus courants constatés est l'apparition des "Wormies" dans les zones plates de l'image [104] qui sont accentués après application de l'outil de "Sharpening". Ce problème semblait avoir disparu depuis dans les versions récentes de LR [143, 4] mais des tests de sharpening simples mettent encore en évidence ce défaut.

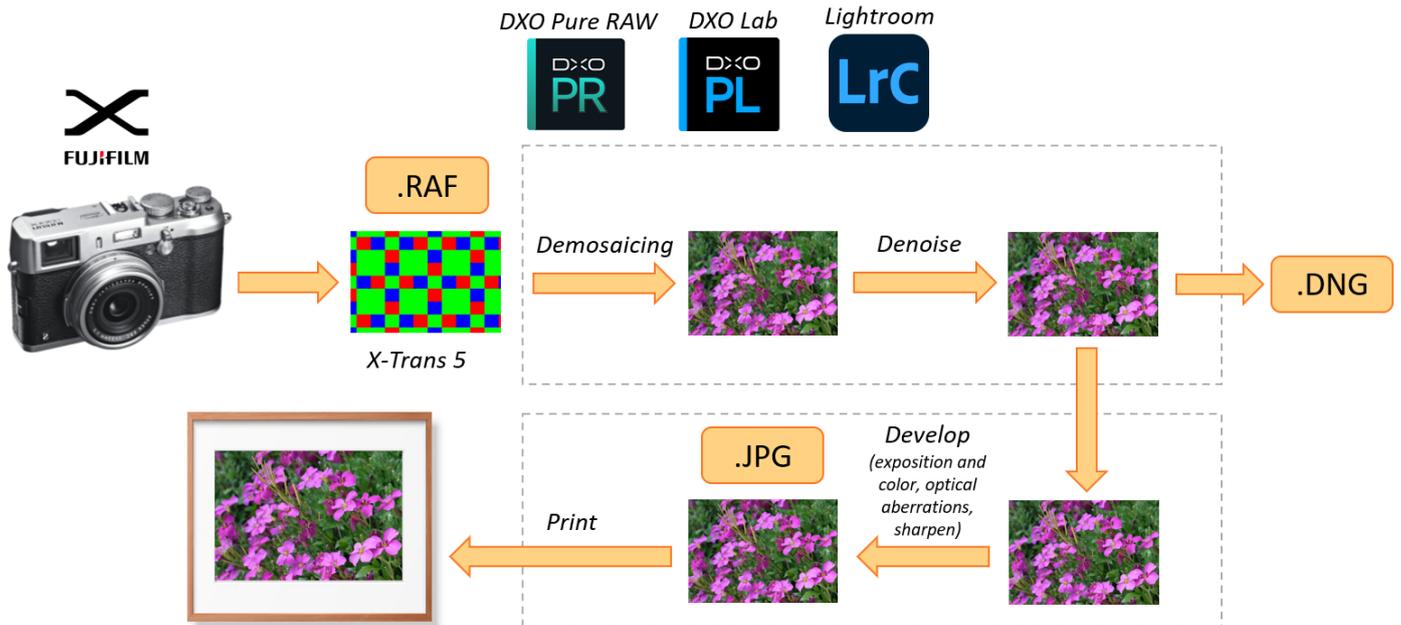
Les meilleurs outils pour dématricer le X-Trans [78] :

- [DXO Pure Raw](#)
- [DXO PhotoLab](#)
- [Rawtherapee](#) - Gratuit
- [Iridient Developer](#) - Gratuit
- [Silkypix \(Fujifilm\)](#) - Gratuit
- [Capture One](#)
- [Darktable](#) - Gratuit [102, 45]

Lightroom n'est pas recommandé pour les matrices X-Trans.

Plusieurs logiciels intègrent toutes les phases du traitement du fichier RAW. DXO Pur Raw ne fait que la partie "Demosaicing" et "Denoise", il est alors possible de continuer le traitement avec un autre logiciel en sortant un fichier au format .DNG.

## Workflow du developpement



Credit : J.G. Gricourt

## 8.7 L'aliasing

Appelé aussi effet de moiré, il s'agit d'un effet produit dans une image contenant des détails dont le contraste dépasse la résolution du capteur. La scène analogique projetée sur le capteur ne va pas être correctement échantillonnée par le capteur pour certains détails de haute fréquence et va produire des artefacts dans l'image [47] :

- Chroma artefacts : de fausses couleurs
- Luminance artefacts : de escaliers

Cet effet est plus visible sur la trame ou le maillage d'un vêtement ou certains éléments architecturaux.

Cet effet peut être annulé dès la prise de vue si on utilise :

- Un filtre "Anti-aliasing" devant le capteur (de nombreux modèle d'APN) mais au détriment de la résolution
- Des objectifs qui sont moins résolus que le capteur lui même
- Un capteur X-Trans (mais moins efficace quand même)

## 8.8 Les LUTs

On parle de "Look-Up Table" un procédé = "LUT Color Grading" agissant à la fois sur le contraste et les couleurs afin de produire une photo ou une vidéo traitée  $R$  à partir d'une photo ou vidéo source brut  $S$  provenant de l'appareil photo / vidéo dont la teinte d'origine est peut être à la fois plate et désaturée :  $R = L + S$ . On trouve les LUT sous forme de bibliothèques un peu comme les simulations de film afin de proposer différents rendus.



Credit : [Preset Pro](#)

## 8.9 Les outils AI

On parle d'outils basés sur l'intelligence artificielle = "Artificial Intelligence" permettant d'améliorer des images ou même d'en générer. Le principe de l'AI repose sur l'entraînement d'un algorithme sur une base de données d'images très importantes afin de réaliser des calculs statistiques pour suggérer des transformations pertinentes du moins en apparence surtout.

Parmi ces outils on retrouve :

- Upscaler : permet d'agrandir une image
- Générateur : permet de produire une image à partir de mots clés
- Conversion vidéo : permet de produire une vidéo courte à partir d'une photo de portrait
- Booster de netteté : permet de rendre nette une image floue ne ajoutant des détails dans l'image

## 9 Les filtres

### 9.1 Filtre Polarisant

Le filtre polarisant ou filtre CPL polarise fortement la lumière afin de supprimer les reflets comme la surface de l'eau ou les fenêtres et renforce la couleur des feuillages et la couleur bleue du ciel. De manière générale il renforce les contrastes dans l'image. IL dispose d'un ergo permettant de faire tourner le verre afin de régler le pouvoir polarisant.

Inconvénients :

- Il nécessite de bien s'orienter par rapport au soleil pour fonctionner
- Il occasionne une perte de luminosité de -1 EV à -2 EV
- Il occasionne une légère dérive colorimétrique à corriger en faisant la balance des blancs

L'effet polarisant est maximal lorsque le soleil est à 9h ou 15h donc de côté et il est nul lorsque le soleil est devant (contre jour) ou derrière l'objectif.

## 9.2 Filtre ND

Le filtre ND = “Neutral Density” est un filtre gris et donc neutre n’altérant pas les couleur permettant d’atténuer la lumière de la scène de 1 à plusieurs EV.

Utilisations :

- Forcer l’allongement du temps de pose sans avoir à fermer l’ouverture en évitant l’effet de la diffraction à F/11 ou plus (effet de filé des cascade d’eau)
- Forcer l’augmentation de l’ouverture afin de diminuer la profondeur de champ (effet Bokeh en condition de lumière forte) lorsque le temps de pose est déjà au minimum

Définitions :

- Type A coefficient de temps de pose :  $ND_A = 2^{f\text{-stop}}$
- Type B densité optique :  $ND_B = 0.3 \times f\text{-stop}$

*Note : f-stop est la réduction d’exposition procurée par le filtre*

T est la transmittance c’est à dire la fraction du flux incident transmise après le filtre :  $T = 1/ND_A = 2^{-ND_B/0.3}$

Le temps de pose résultant de l’emploi du filtre vaut :  $tp = ND_A \times tp_0$

Le filtre résultant de l’ajout de 2 filtres est l’addition des valeurs filtres exprimé en ND type B :  $ND_B = ND1_B + ND2_B$

Les filtres neutres

| Type A       | Type B | Transmittance | Light Reduction |
|--------------|--------|---------------|-----------------|
| ND 1         | ND 0.0 | 1             | 0               |
| ND 2         | ND 0.3 | 1/2           | -1 EV           |
| ND 4         | ND 0.6 | 1/4           | -2 EV           |
| ND 8         | ND 0.9 | 1/8           | -3 EV           |
| ND 16        | ND 1.2 | 1/16          | -4 EV           |
| ND 32        | ND 1.5 | 1/32          | -5 EV           |
| ND 64        | ND 1.8 | 1/64          | 6               |
| ND 100 *     | ND 2.0 | 1/100         | -(6 + 2/3) EV   |
| ND 128       | ND 2.1 | 1/128         | -7 EV           |
| ND 256       | ND 2.4 | 1/256         | -8 EV           |
| ND 400 *     | ND 2.6 | 1/400         | -(8 + 2/3) EV   |
| ND 512       | ND 2.7 | 1/512         | -9 EV           |
| ND 1 000 *   | ND 3.0 | 1/1 024       | -10 EV          |
| ND 2 048     | ND 3.3 | 1/2 048       | -11 EV          |
| ND 4 096     | ND 3.6 | 1/4 096       | -12 EV          |
| ND 6 310     | ND 3.8 | 1/6 310       | -(12 + 2/3) EV  |
| ND 8 192     | ND 3.9 | 1/8 192       | -13 EV          |
| ND 10 000 *  | ND 4.0 | 1/10 000      | -(13 + 1/3) EV  |
| ND 100 000 * | ND 5.0 | 1/100 0000    | -(16 + 2/3) EV  |

## 10 Imprimantes

La résolution de l'imprimante s'exprime en dpi = "Dot Per Inch" par exemple 300 dpi ou ppi= "Pixel Per Inch", signifie que 300 pixels de l'image seront inscrit dans 1 inch de l'impression.

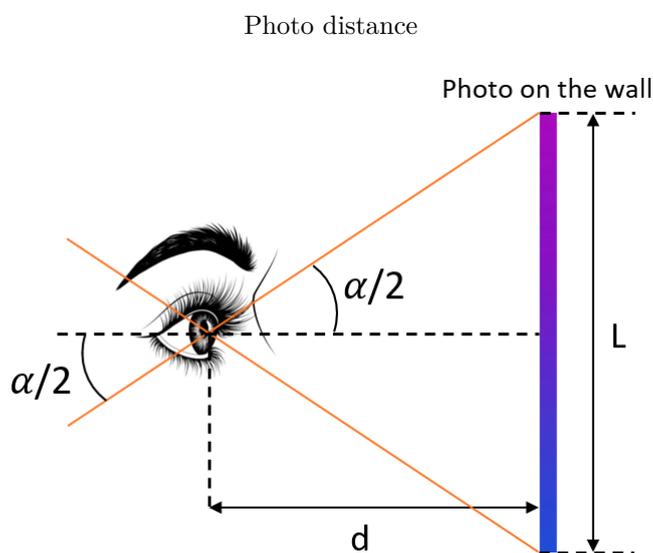
L'impression nécessite de contrôler à la fois :

- Le rendu de la colorimétrie (profile ICC) pour obtenir des couleurs exactes sans dérive
- L'échantillonnage pour obtenir une impression adapté à la distance minimal qui permettra de contempler la photo dans son ensemble confortablement

Etapes de la préparation d'un tirage : [Le Blog de Labophotos.fr](#)

On peut calculer l'angle produit par l'image imprimée de largeur L et accrochée sur un mur à une distance d de l'observateur :

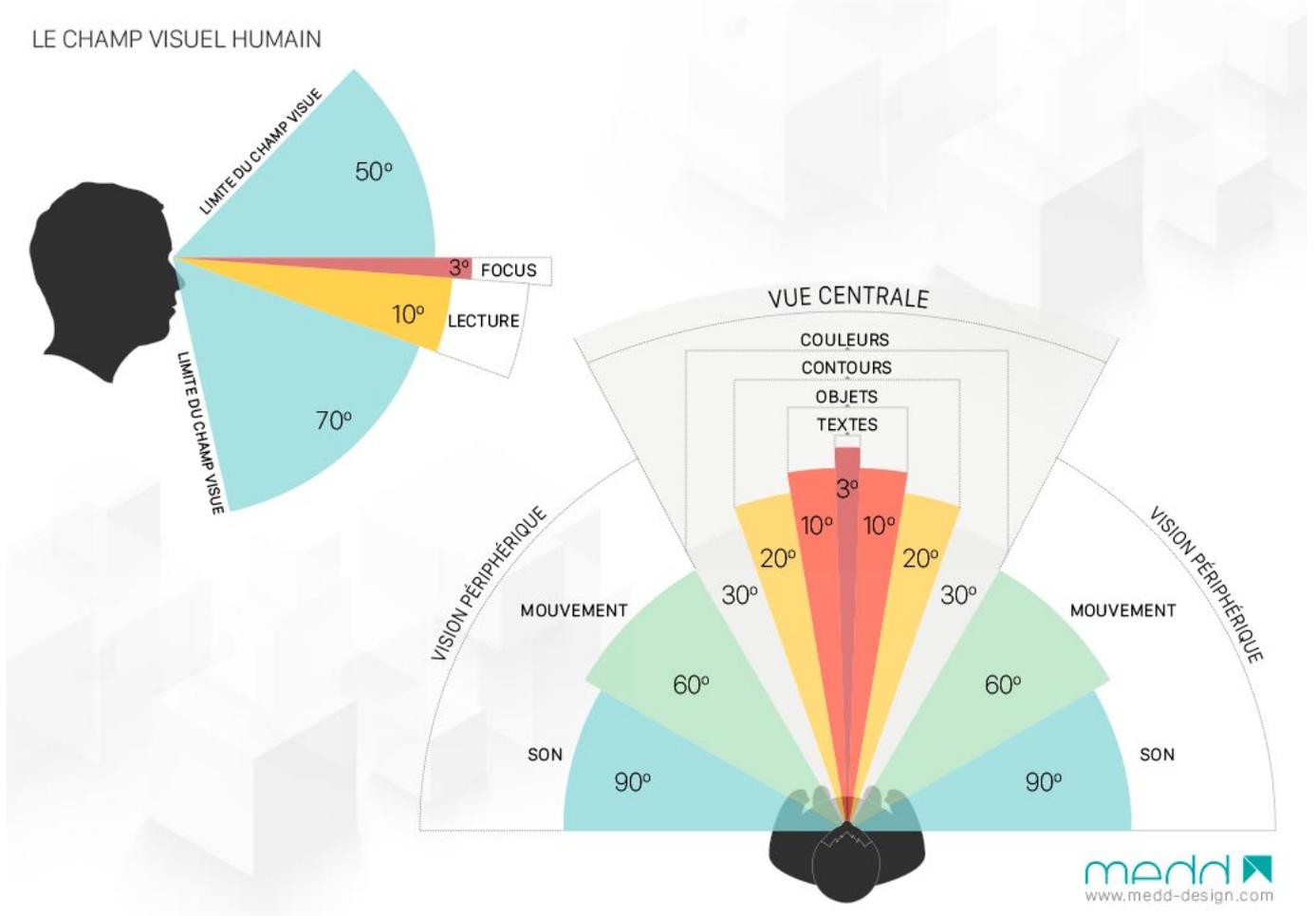
$$\tan(\alpha/2) = L/2d$$



Credit : J.G. Gricourt

En ophtalmologie le champ de la vision centrale est en moyenne de  $\alpha = 60^\circ$ . Connaissance la hauteur de l'image on peut en déduire la distance maximale permettant de ne pas distinguer les points d'impression sur la photo imprimées.

## Champ de vision



Donc pour voir la totalité de la photo il faut vérifier :  $L_{\max} = 2 \times d \times \tan(30)$

Densité de points :  $L_{\text{pixels}} = L_{\text{inch}} \times \rho_{\text{dpi}}$

$L_{\text{inch}}$  : dimension horizontale (ou verticale) de l'impression en inch

$L_{\text{pixels}}$  : résolution horizontale (ou verticale) de la photo en pixels

$\rho_{\text{dpi}}$  : densité horizontale (ou verticale) de l'impression en dpi

**Impression optimale théorique** L'impression pour être optimale afin de représenter la résolution de la photo, c'est à dire représenter correctement la résolution nominale de l'image doit avoir une densité de points au moins 2 à 3 fois supérieure à celle de l'image (inspiré de la loi de Nyquist Shannon) :  $\rho_{\text{dpi\_print}} > 2 \times \rho_{\text{dpi}}$

Lorsqu'on choisi une impression de  $\rho_{\text{dpi\_print}}$  alors l'image aura une dimension finale de :  $L_{\text{inch}} = \frac{2 \times L_{\text{pixels}}}{\rho_{\text{dpi\_print}}}$ .

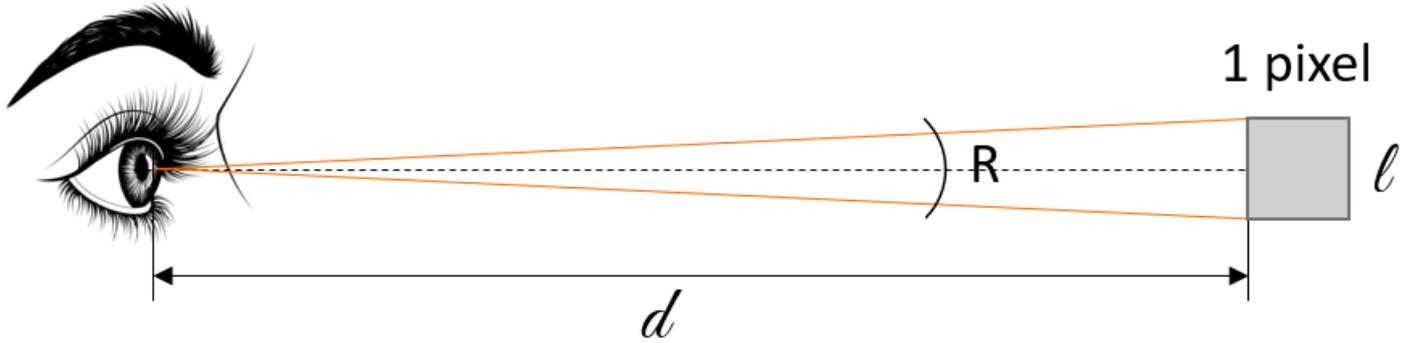
Exemple :  $L_{\text{pixels}} = 4416$  (capteur 24 Mpix) alors à 300 dpi on obtient une impression de  $L_{\text{inch}} = 30\text{inch} = 76\text{cm}$  et à 600 dpi on obtient une impression de  $L_{\text{inch}} = 15\text{inch} = 38\text{cm}$ .

**Impression optimale pour la vision humaine** Dans le calcul de la relation densité de pixel il faut prendre en compte la résolution maximal de l'oeil humain sans défauts et en plein jour  $R_o = 1'$ , l'angle couvert par un point image sur l'impression

$R = \tan l/d \approx l/d$  où  $l$  la dimension du point image et  $d$  la distance de l'observateur à la photo imprimée et  $d$  la distance de l'observateur en mètre.

Pour ne pas voir les pixels sur l'impression il faut que l'angle de résolution de l'oeil soit supérieur à l'angle de vue du pixel sur l'impression à la distance  $d$  en mètre, pour être certains de ne plus résoudre les pixels on prendra en compte 2 pixels pour la résolution max de référence :

Vision Angle



Credit :J.G. Gricourt

Note :  $l$  et  $d$  sont exprimés en mètre

$$\begin{aligned}
 2R &< R_o \\
 2 \times l/d &< R_o \quad \text{or } l_{\text{inch}} = 1/\rho_{\text{dpi}} \text{ alors } l_{\text{meter}} = 0.0254/\rho_{\text{dpi}} \\
 \frac{2 \times 0.0254}{d\rho_{\text{dpi}}} &< R_o \\
 \rho_{\text{dpi}} &> \frac{2 \times 0.0254}{dR_o} \quad \text{où } R_o \text{ est exprimé en radians donc } R_o = 1/3438 \\
 \rho_{\text{dpi}} &> \frac{2 \times 0.0254 \times 3438}{d} \\
 \rho_{\text{dpi}} &> \frac{175}{d}
 \end{aligned}$$

D'autres règles trouvées dans la littératures :

Règle 1 : à 25 cm de distance = le Punctum Proximum, une impression de 300 dpi sera suffisante et à 1 m de distance une impression de 180 dpi sera suffisante donc  $\rho_{\text{dpi}} = 300 \times \frac{25}{d}$  où  $d$  est la distance en centimètre.

Règle 2 : en pratique on prendra :  $\rho_{\text{dpi}} = \frac{180}{d}$  où  $d$  est la distance en mètre.

Règle 3 : une brochure tenue à la main doit comporter 300 dpi, un poster doit comporter 90 dpi et une affiche géante de type billboard doit comporter 20 dpi.

## DPI and Viewing distance

| Viewing Distance | Min Resolution |
|------------------|----------------|
| 0.6m / 2ft       | 300 dpi        |
| 1m / 3.3ft       | 180 dpi        |
| 1.5m / 5ft       | 120 dpi        |
| 2m / 6.5ft       | 90 dpi         |
| 3m / 10ft        | 60 dpi         |
| 5m / 16ft        | 35 dpi         |
| 10m / 33ft       | 18 dpi         |
| 15m / 50ft       | 12 dpi         |
| 50m / 160ft      | 4 dpi          |
| 60m / 200ft      | 3 dpi          |
| 200m / 650ft     | 1 dpi          |

Credit : [Printhandbook](#)

Ci-dessous d'autres recommandations d'imprimeurs photo :

## Megapixels vs. Print Size Chart

| TYPICAL SENSOR       | RESOLUTION (WXH) | PRINT SIZE & QUALITY |                |                |
|----------------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|
|                      |                  | Excellent @ 300 dpi  | Good @ 200 dpi | Poor @ 150 dpi |
| 3MP                  | 2048×1536        | 7"x5"                | 10"x8"         | 14"x11"        |
| 4MP                  | 2464×1632        | 8"x6"                | 12"x8"         | 16"x12"        |
| 6MP                  | 3008×2000        | 10"x8"               | 15"x10"        | 19"x13"        |
| 8MP                  | 3164×2448        | 12"x8"               | 16"x12"        | 22"x16"        |
| 10MP                 | 3872×2592        | 13"x9"               | 19"x13"        | 26"x17"        |
| 12MP                 | 4290×2800        | 15"x10"              | 21"x14"        | 28"x18"        |
| 16MP                 | 4920×3264        | 17"x11"              | 24"x16"        | 32"x22"        |
| 35 mm Film (Scanned) | 5380×3620        | 18"x12"              | 27"x18"        | 36"x24"        |
| 36 MP                | 7360×4912        | 24"x16"              | 36"x24"        | 48"x32"        |
| 42 MP                | 7952 x 5304      | 27"x18"              | 40"x30"        | 54"x36"        |
| 50 MP                | 8688×5792        | 30"x20"              | 44"x29"        | 174"x116"      |

Credit : [Digital Photography Live](#)

Toutefois il restera difficile de faire une différence sur des impressions de 100cm de large entre 12 Mpixels et 45 Mpixels [107].

## 11 Technologies des APN - 1

### 11.1 Le flash

Le flash existe depuis que l'appareil photo existe, il s'agit d'un moyen d'éclairer une scène mal éclairée afin d'obtenir une exposition correcte dans l'image. Avec l'utilisation d'un flash le temps de pose  $tp$  n'a plus aucune influence sur le résultat final tant que celui ci reste plus lent que la vitesse de synchronisation  $1/250$  sec car pendant que la totalité du capteur est découverte le flash fera son effet c'est à dire éclairer toute la scène sur le capteur pendant la durée effective du flash (voir graphique plus bas).

Donc il faut veiller à ce que  $tp > 1/250s$ .

Il existe 2 types de flash :

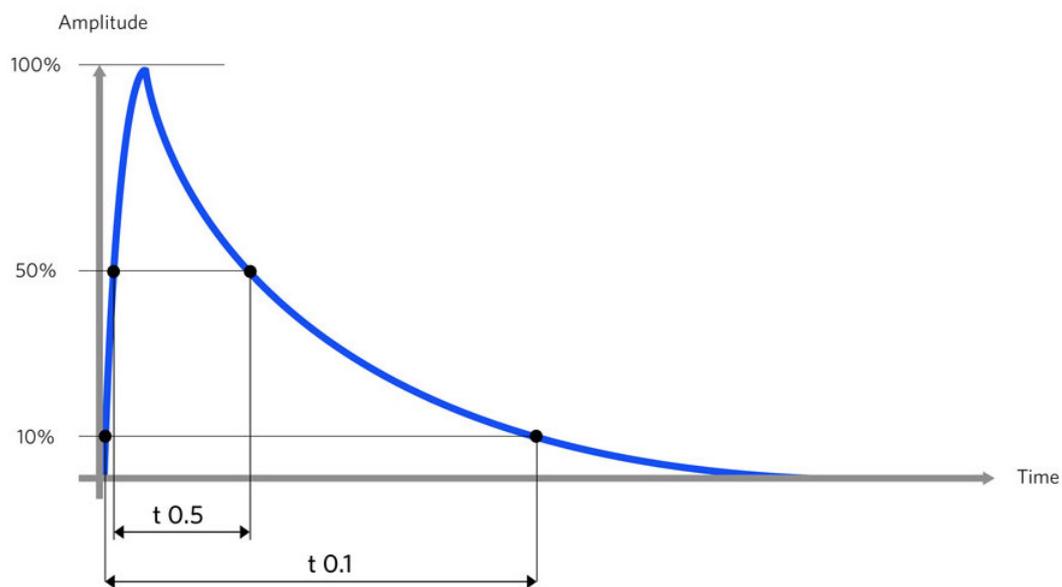
- “Speedlight” : utilisé pour se monter sur l’appareil photo directement
- “Strobe light” : utilisé comme une unité extérieures télécommandées et utilisé en studio

*Note : les strobes en haute vitesse perdent en moyenne 1 stop de lumière par rapport au pouvoir éclairant d’une lumière continue*

La puissance de l’éclairage du flash va déterminer l’exposition en plus de l’ouverture et de l’ISO. La puissance du flash est déterminé par la mesure TTL, pour cela un pré-flash est émit afin d’éclairer la scène pour prendre la mesure de l’exposition et ensuite calculer la puissance du flash.

La durée du flash va déterminer la vitesse réelle de la prise de vue. Pour figer une scène dynamique comme en photo sportive, il faut un flash dont la durée effective est la plus courte possible.

### Understanding Flash Duration



Credit : Michael Clark

A  $t = t_{0.5}$  50% de la lumière du flash est émise et à  $t = t_{0.1}$  10% de la lumière est émise.

Il faut que le flash et l’obturateur soit étroitement synchronisés pour que le capteur soit complètement découvert au moment où le flash se déclenche et éclaire.

On considère  $\Delta_{\text{curtain}}$  le temps de descente d’un seul rideau de l’obturateur = vitesse de synchro flash =  $1/250$  s

Avec le mode normal à une vitesse d’obturation  $t_p > 1/250$ s le flash est enclenché au début du temps de pose lorsque le capteur est complètement découvert.

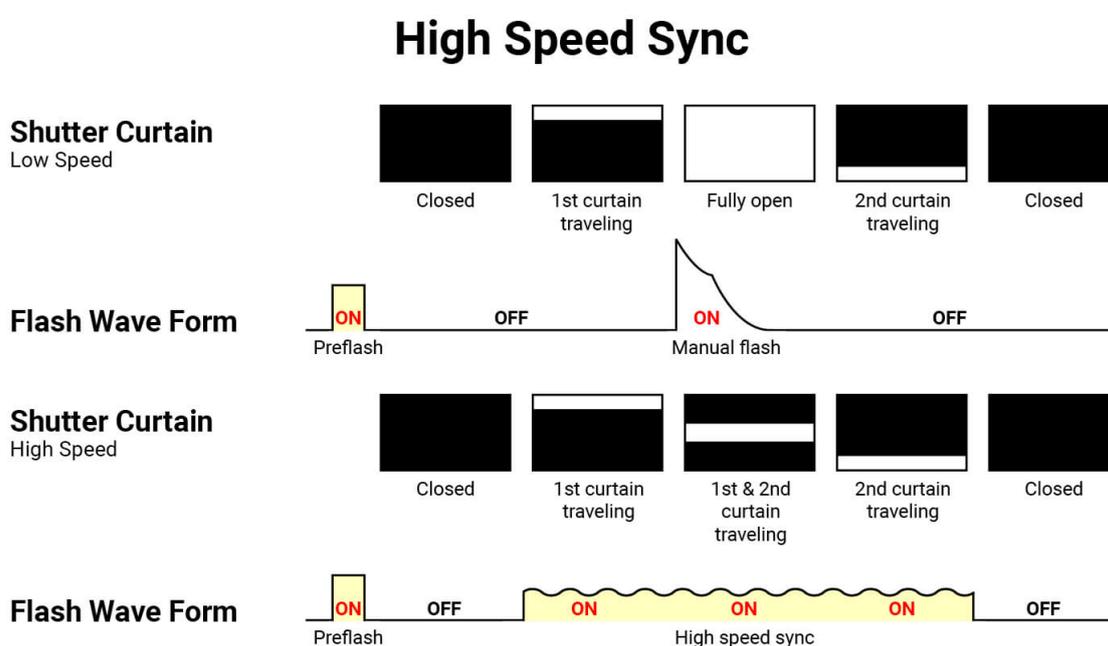
Avec le mode “Second Curtain Flash” à une vitesse d’obturation  $t_p > 1/250$ s le flash est enclenché non pas au début du temps de pose mais tout à la fin (avant la baisse du rideau) [34]. L’avantage de déclencher le flash tardivement est d’éviter que le sujet ai bougé entre le déclenchement du flash au début du temps de pose et la fin du temps de pose. Car le temps que le capteur est découvert même lorsque le flash n’éclaire plus, l’image est tout de même enregistrée pendant toute cette durée donc les mouvements seront visibles sous forme d’image fantôme ou de flou de bougé.

Avec les APN dépourvu d'obturateur mécanique mais utilisant un capteur de type "Rolling Shutter", le sujet peut encore bouger après que le flash au été déclenché le temps de la lecture de l'image du capteur  $\Delta_{\text{readout}}$ .

Lorsqu'on prend une photo à une vitesse supérieure à  $tp > 1/250s$ , le capteur ne sera jamais complètement découvert car les 2 rideaux sont en mouvement en même temps et se suivent plus d'autant plus étroitement que la vitesse d'obturation est élevée. Le résultat est que l'on verra une ou plusieurs bandes noires sur l'image !

Cependant lorsque l'on prend des photos de jour ou d'une scène déjà très bien éclairée il peut être nécessaire d'utiliser une vitesse d'obturation supérieure à  $1/250$  sec. C'est le cas des portraits en studio. Donc pour aller chercher des temps de pose plus court il faut utiliser un flash supportant le mode "High Speed Sync". Dans ce mode le flash envoie plusieurs flash de lumière les uns après le autres [127] afin d'exposer toute la surface du capteur même si celui ci est traversé par une fenêtre glissante, ce qui est nécessairement le cas à haute vitesse.

### Flash High Speed Synchronisation



Credit : [DPreview](#)

Modes du flash :

- Mode flash "Low Speed Sync" si  $tp \in [tp = 1/250, \infty[$
- Mode flash "High Speed Sync" si  $tp \in [tp_{\text{min}}, tp = 1/250[$

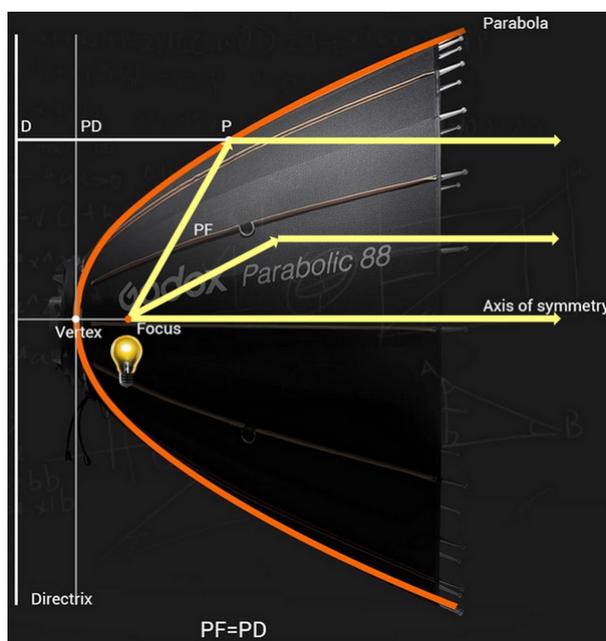
*Note : en général pour les obturateurs modernes  $tp = 1/8000\text{sec}$  mais c'est le temps de pause minimum permis par le Strobe qui doit être pris en compte ici.*

En mode flash HSS donc pour des hautes vitesses supérieures à  $1/1000$  sec conjugué à l'utilisation d'un obturateur électronique de type "Rolling Shutter" (non "Global Shutter") il peut apparaitre du banding sur l'image. En effet dans ce cas la lecture de l'image par l'APN se fait ligne par ligne sur le capteur or les impulsions de flash répétées (mode HSS) n'exposent pas les lignes de manière identiques [126]. L'importance du banding dépend de la puissance du flash et de la vitesse d'obturation utilisée, il n'y a pas de règles identifiées cependant il faut tester le matériel.

## 11.2 Flash parapluie

Appelé aussi “Diffuseur”, “Softbox” ce sont des flashes déporté télécommandés à distance par l’appareil photo permettant de placer le flash à la bonne distance en lui donnant la bonne orientation. Un flash est installé au point focal du parapluie qui lui est de forme parabolique ce qui renverra la lumière de manière parallèle comme la lumière naturelle. L’avant du parapluie est complètement recouverte d’un diffuseur en tissus blanc. Sa lumière est donc diffuse et permet d’éteindre un arrière plan trop lumineux comme en extérieur afin de mettre en valeur le sujet, ce type de flash est idéal en portrait.

Softbox



Credit : Godox

Il existe aussi des parapluies simples de forme non parabolique, sans diffuseur, réfléchissant directement la lumière du soleil vers le sujet.

## 11.3 Autofocus

L’autofocus est le système qui permet de réaliser la mise au point automatique.

Les systèmes passifs :

- Autofocus à détection de contraste = “Contrast Detection”
- Autofocus à corrélation ou différence de phase = “Phase Difference”

De nos jours les APN Pro utilisent les 2 types d’autofocus. Les capteurs d’autofocus directement sur le capteur principal. De manière générale les 2 types de d’autofocus co-existent, les collimateurs du centre sont à corrélation de phase et ceux des bords sont à détection de contraste. Canon utilise la technologie “Dual Pixels” pour le contraste de phase.

En photo de sport on cherche à obtenir l’autofocus le plus rapide possible afin de capturer des événements changeant rapidement. En vidéo c’est l’inverse on veut rendre les effets de changement de focus plus lents pour un effet plus esthétique.

En photo de portrait de sujet mouvant (Wedding) la rapidité de l’autofocus est primordiale afin que la photo soit parfaitement nette indépendamment de la vitesse d’obturation.

**Autofocus à corrélation de phase** ou PDAF = “Phase Difference Auto-Focus” cette méthode hérité des argentiques modernes consiste à évaluer la distance sujet. Pour la compréhension on place un filtre partagé en 2 couleurs rouge et bleu derrière l’objectif. Lorsque la mise au point n’est pas bonne une tâche bicolore est enregistrée. Lorsque la mise au point est trop en arrière du sujet la tâche est scindé en 2 couleurs rouge / bleu, lorsque la mise au point est trop en avant du sujet la tâche est inversée en bleu / rouge. La position des couleurs est permet de savoir comment régler la bague sur l’objectif. Une lentille collectrice permet de rendre les rayons parallèles et 2 lentilles collimateur permettent de reformer 2 points de focus séparés sur un capteur en ligne chacun : un point image de couleur rouge et un de couleur bleu. Lorsque la mise au point est bonne, la FWHM est très serrée au centre pour le 2 couleurs et sinon on obtient une FWHM élargie et décalée vers l’extérieure si le sujet est trop proche et une FWHM décalée vers l’intérieur si le sujet est trop éloigné [97]. Dans la réalité il faut analyser les 2 courbes de contraste obtenues pour déterminer si elles se superposent parfaitement et l’écart par rapport au centre est relié à la distance du sujet. En utilisant des capteur en croix (2 lignes croisées) on améliore encore la précision mais il faut utiliser des objectifs à pleine ouverture pour capter encore plus de lumière. Les collimateurs sont matérialisés soit en ligne soit en croix dans le viseur.

Caractéristiques :

- Plus rapide
- Manque de précision si l’objectif n’est pas ouvert à F/5.6 ou mieux (F/2.8 pour des collimateurs en croix)
- Manque de précision si le sujet manque de contraste
- Sur les réflexes nécessite un second capteur dédié = module autofocus, sur les mirrorless c’est le capteur principal qui est utilisé
- Sur les réflexes il ne permet pas le Live View ni l’autofocus en mode vidéo
- Ce n’est pas le module autofocus qui commande le déplacement des lentilles (ne fait que valider le déplacement après coup)
- Sur les mirrorless la PDAF se fait sur le capteur
- Pb de backfocus / front focus sur DSLR

**Autofocus à détection de contraste** ou CDAF = “Contrast Detection Auto-Focus” cette méthode la plus récente consiste à apprécier la FWHM de l’image d’une source lumineuse ponctuelle sur un capteur en ligne. Plus la FWHM est serrée plus la mise au point sera précise mais comme rien n’indique la distance réelle du sujet l’autofocus tâtonne pour décider dans quel sens tourner la bague de réglage sur l’objectif [97].

Caractéristiques :

- Plus lent = effet de pompage de l’auto-focus de l’objectif
- Plus précis sur les sujet figé
- Plus précis en basse lumière
- Sur les mirrorless la CDAF se fait sur le capteur

**Autofocus dual pixels** ou “Dual Pixel AF”, est une technologie de Canon. Cette méthode est une variante de la détection de contraste où le capteur principal comporte un dédoublement des photosites en 2 pixels. Ces pixels peuvent être à la fois être utilisé pour l’AF et pour la prise de vue [118].

Caractéristiques :

- Plus rapide que la détection de contraste classique
- Permet la vidéo
- C’est l’AF qui commande le déplacement des lentilles
- L’augmentation du nombre de pixels induit plus de bruit numérique

**Le stigmomètre** Cette méthode entièrement manuelle est celle utilisée à l'époque de l'argentique elle consiste à utiliser 2 prismes croisés de Dodin formant 2 images décalées dans la mire du centre de l'image. Pour réaliser la mise au point il suffit de faire en sorte que les 2 images du centre coïncident parfaitement.

Evolution de l'autofocus :

- A l'époque de l'argentique il n'y a qu'un point de focus central (stigmomètre), la technique utilisée est celle du focus en un point B et du recadrage sur un point A.
- Avec les réflexes modernes vers la fin de l'argentique et les débuts des réflexes numériques on peut sélectionner les points de focus depuis le viseur ou l'écran.
- Avec les hybrides le focus est acquis automatiquement par détection du sujet grâce à l'AI = "Artificial Intelligence".

Les reflexes = DSLR autofocus pouvaient être sujet à des erreurs de focus en mode PDAF :

- Front focus : le focus est réalisé plus loin devant le point de focus visé
- Back focus : le focus est réalisé plus près derrière le point de focus visé

Certains réflexes haut de gamme propose de corriger (par calibration) automatiquement ces erreurs selon les objectifs utilisés.

A noter que les APN mirrorless ne peuvent pas avoir ces problèmes car le CDAF focus est réalisé directement sur le capteur alors que sur un reflex il y a un capteur dédié à l'auto-focus CDAF qui reçoit la lumière du miroir non relevé pour apprécier le focus et c'est avant que le miroir soit relevé pour prendre le photo que le focus de l'objectif est modifié [137] :

- L'alignement du capteur CDAF avec l'objectif doit être précis
- Représente une chaîne plus complexe

## 11.4 Vitesse de lecture du capteur

Appelé aussi "Sensor Readout Speed", la vitesse de lecture du capteur est ce qui distingue actuellement les APN pro des APN grand public. Ce sont en général des capteurs empilés qui présente des vitesses de lecture élevées, sauf le Canon R5 II

Avantages d'une vitesse de lecture rapide :

- Moins de "Rolling Shutter" lors de la prise de vue de sujet rapide ou lors de panning / travelling rapide (on déplace l'APN)
- Plus de rafales, 40 images / sec et plus, nécessite aussi un buffer mémoire conséquent pour éviter le goulot d'étranglement de la carte mémoire
- L'Autofocus est aussi plus nerveux car la boucle de verrouillage est réalisée plus rapidement

## 11.5 Taille des pixels et bruit

Les pixels où photosites du capteur sont de petites cellules photoélectriques transformant des photons en électrons. Les APN de type APS-C ayant le même nombre de pixels que les APN FF possèdent de plus petits pixels.

Avantage des gros pixels :

- Ils peuvent engranger plus de photons (lumière) et donc convertir plus d'électrons (signal) dans le même temps de pose.
- En théorie une surface dotée de pixels plus petits capte tout autant de lumière que la même surface dotée de moins de pixels mais plus gros mais il y aura un peu moins de perte de photons lorsque la surface du photosite est plus grande.

- Plus de signal pendant un même temps de pose produira un meilleur SNR [64]
- Ils génèrent moins de bruit de lecture  $\sigma_{\text{Read}}$  mais les capteurs modernes réduisent ce bruit presque à néant
- Ils sont capables de produire une DNR (bits) =  $\frac{\log(\text{FWC})}{\log(2)}$  plus élevée, au maximum lorsque  $\sigma_{\text{Read}} = 1$  (TDN = conversion des électrons)

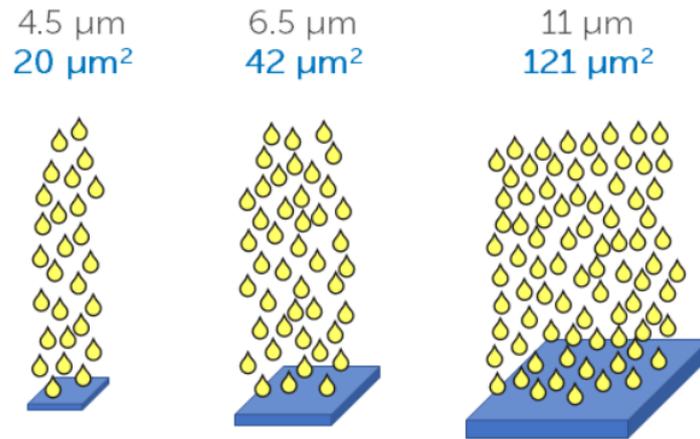


Figure 2: Larger sensors can detect more signal from the sample. A 6.5  $\mu\text{m}$  pixel can collect 2x the signal as a 4.5  $\mu\text{m}$ , while an 11  $\mu\text{m}$  pixel can collect 6x as much.

Credit : [Teledyne Photometrics](#)

Si l'on subdivise un pixel en 4 ou que l'on regroupe 4 pixels, le nombre de photons total reçu  $S$  débarrassé du bruit est le même pour chaque pixel si la source de lumière est uniforme :

$$S = S_0 + S_1 + S_2 + S_3$$

$$S = 4S_0$$

Le bruit "Shot Noise" inhérent à la collecte des photons :

$$\sigma = \sqrt{S}$$

$$\sigma = \sqrt{4S_0}$$

$$\sigma = 2\sqrt{S_0}$$

$$\sigma = 2\sigma_0$$

Lorsque le signal est multiplié par 4 le bruit n'est pas multiplié par 4 mais par 2 seulement donc mathématiquement le SNR de la photo augmente [54].

Ce calcul met également en oeuvre la technique du pixel binning, le regroupement de pixels en post traitement pour rendre l'image moins bruitée au détriment de la résolution, c'est cette technique qui est utilisée dans les smartphones haut de gamme mais qui peut être employée aussi en astrophotographie.

## 11.6 Obturateur

L'obturateur = "Shutter" est le dispositif mécanique ou électronique permettant d'exposer le capteur ou la pellicule à la lumière pendant un laps de temps correspondant au temps de pose. En général l'obturateur est porté par le boîtier et placé juste devant le capteur et plus rarement il peut être porté par l'objectif.

Étapes de déclenchement de l'obturateur mécanique :

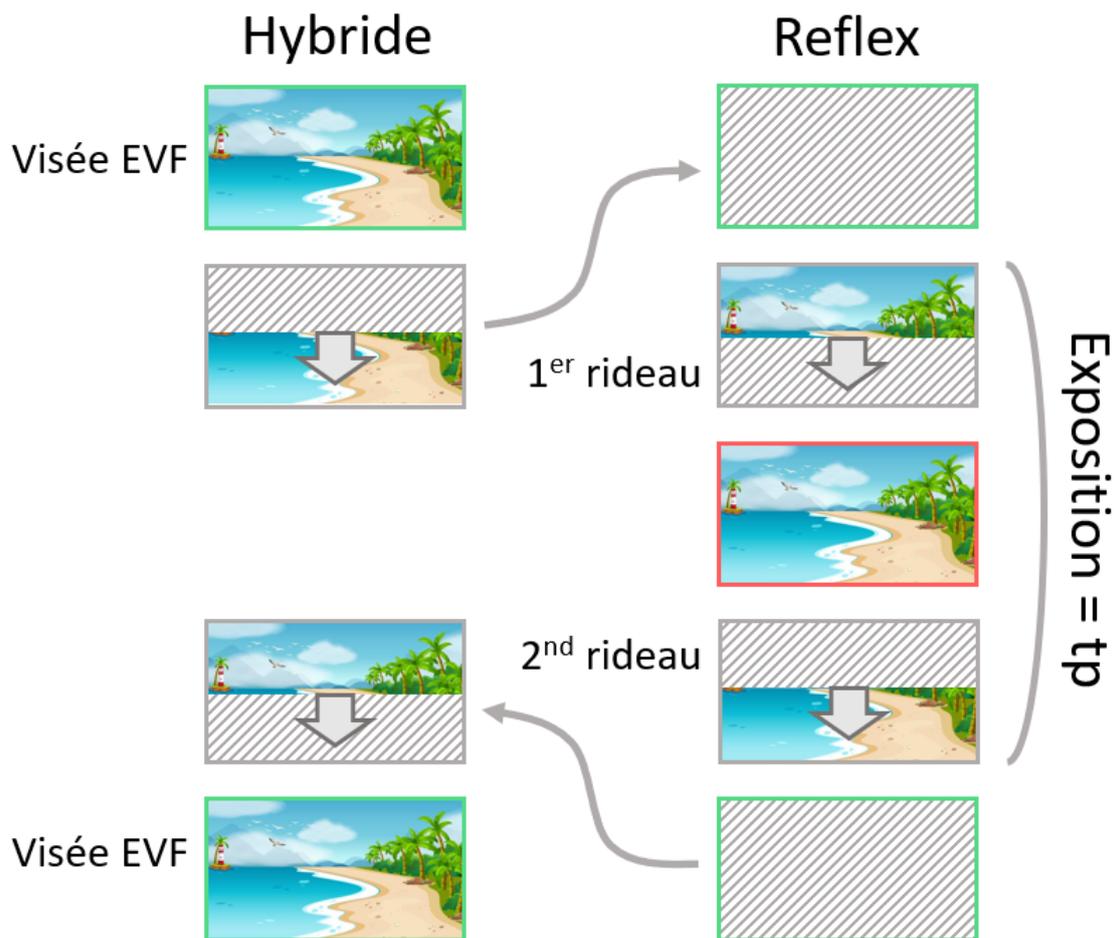
1. Fermeture du diaphragme de l'objectif à l'ouverture choisie
2. Relevage du miroir de visée
3. Ouverture du rideau devant le capteur ou la pellicule
4. Fermeture du rideau après que le temps de pose choisi soit écoulé
5. Remplacement du miroir de visée
6. Ouverture du diaphragme de l'objectif au maximum pour maximiser la lumière entrante dans le viseur

Il en existe de 2 grand types d'obturateur :

- "Focal-plane Shutter" : on le trouve dans tous les DSLR et Hybrides, il peut exposer jusqu'à des vitesses de 1/8000 sec, la synchro flash est lente = 1/250 sec
- "Leaf Shutter" : on le trouve dans le X100V de Fujifilm, il peut exposer jusqu'à des vitesses de 1/2000 sec à pleine ouverture, la synchro flash est rapide = 1/4000 sec

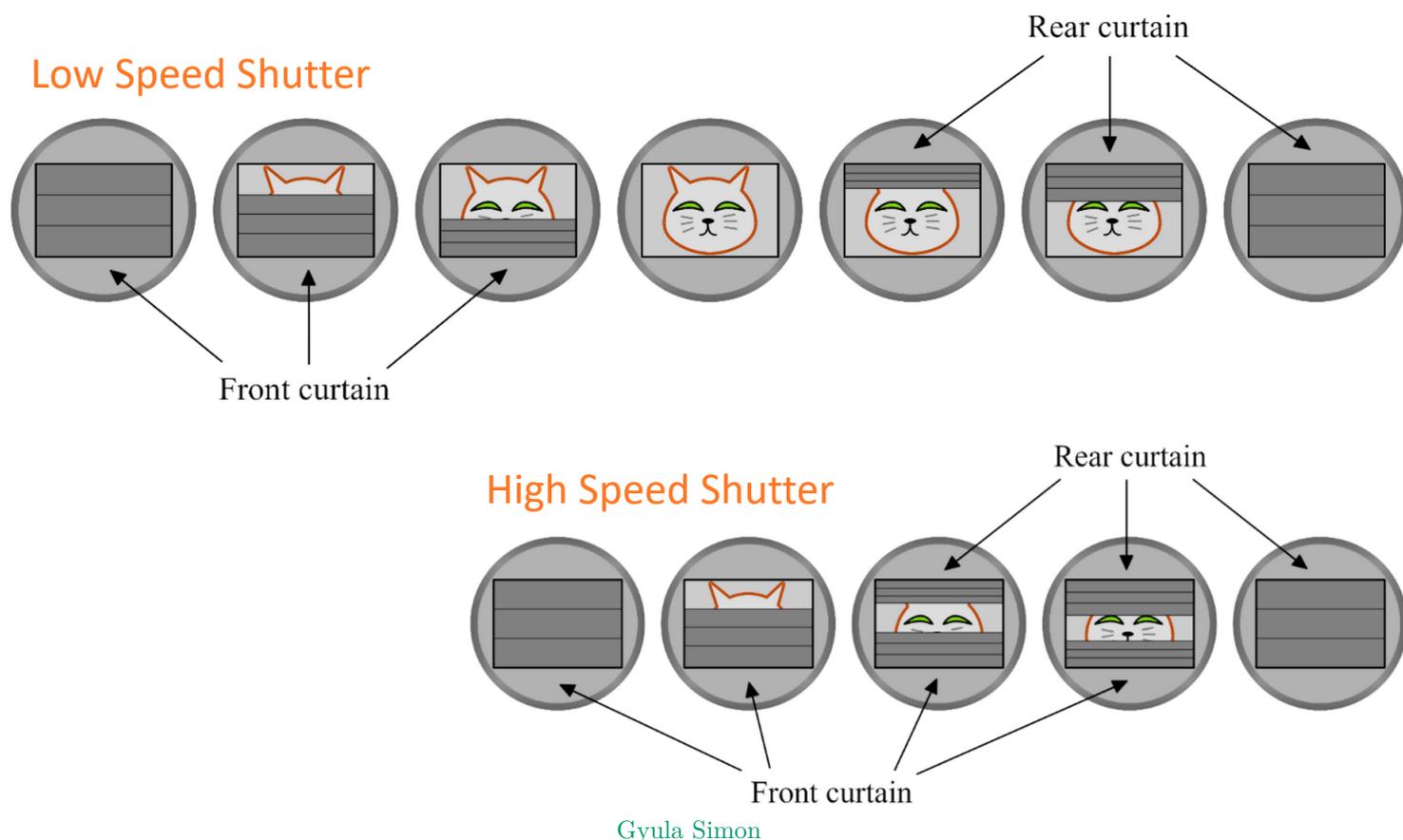
Les technologies employées :

- Obturateur à rideau = "Curtain" défilant à l'horizontal constitué d'une toile, sur le Nikon F3 il est en titane
- Obturateur à lamelles métalliques défilant à la vertical en général, trouvés sur tous les appareils photo DSLR modernes et hybrides, sont réputés un peu moins fiables que les obturateurs à rideau.



J.G. Gricourt

A basse vitesse 1 seul rideau bouge à la fois alors qu'à haute vitesse les 2 rideaux bougent en même temps car la vitesse de déplacement de chaque rideaux est limitée. En effet il faut que le temps écoulé entre le départ (capteur couvert) du premier rideau à l'arrivée du second rideau (capteur recouvert) correspond au temps de pose or ce n'est plus possible à haute vitesse donc le second rideau doit partir avant que le premier rideau ne soit arrivé en bas. Dans tous les cas les rideaux partent en décalé de  $\Delta = tp$ .



Gyula Simon

Puisque la vitesse de descente des rideaux est invariable dans tous les cas, on remarquera que dans le cas d'une vitesse d'obturation lente, le temps écoulé minimal entre le début de descente du 1er rideau et la fin de descente du second rideau vaut :  $t_{\min} = 2\Delta_{\text{curtain}}$  où  $\Delta_{\text{curtain}}$  est le temps de descente d'un seul rideau car on considère alors que le temps où le capteur est complètement découvert vaut zéro.

Dans le cas de la vitesse d'obturation la plus rapide  $t_{\min} = \Delta_{\text{curtain}}$  car les rideaux se suivent étroitement. En général on a  $\Delta_{\text{curtain}} > 1/250\text{sec}$  [50].

Spécificité des obturateurs chez les hybrides :

- L'obturateur mécanique peut provoquer des vibrations si la vitesse d'obturation est basse  $1/60$  sec ou plus lent (ici photo sur trépied) nuisant à la netteté des images (valable aussi pour les boîtiers DSLR)
- L'obturateur électronique est sujet au "Rolling Shutter"

**"Focal-plane Shutter"** Est un obturateur à rideau constitué de 2 rideaux, le premier descend pour découvrir le capteur puis vient le temps de l'exposition ensuite le second descend pour recouvrir le capteur. En mode basse vitesse (plus long que  $1/60$  sec ou  $1/250$  sec) les 2 rideaux de l'obturateur ne sont jamais visibles en même temps, il a toujours un moment où le capteur est complètement découvert alors qu'en haute vitesse les deux rideaux se déclenchent en même temps formant une fenêtre étroite glissante devant le capteur pour réaliser l'exposition et plus la vitesse est rapide plus la fenêtre sera étroite et fine [79].

**"Leaf Shutter"** Est un obturateur constitué de plusieurs feuilles formant une ouverture circulaire similaire au diaphragme que l'on trouve sur les objectifs de appareils photo Hasselblads.

- Il permet de prendre des photos en contre jour avec flash tout en gardant une ouverture élevée (faible profondeur de champ) du fait que la vitesse peut être plus rapide que 1/250 sec [22]
- Il permet d'éviter l'effet "Rolling Shutter" lors de l'utilisation de vitesses de prise de vue élevées.

**L'obturateur électronique sur 1er rideau** où "Electronic Front Curtain Shutter" ou "EFCS" est un mode d'obturation particulier des hybrides utilisé à vitesse lente 1/1000 sec ou moins afin d'éviter les flous dûs aux vibrations de l'obturateur mécanique du 1er rideau. Lors du déclenchement de la prise de vue, l'abaissement du premier rideau qui va cacher le capteur n'existe pas chez les réflexes puisque dans ce cas la visée ne se fait par le capteur mais par un prisme. C'est ce mouvement du premier rideau qui peut provoquer des vibrations. On peut éliminer le problème si l'on remplace le premier rideau mécanique par un "rideau électronique", le capteur se vide de toute charge électronique en attendant d'être exposé à la lumière une fois le rideau levé.

## 11.7 Rolling shutter

Il s'agit du phénomène se manifestant principalement en mode "Electronic Shutter" (et non "Mechanical Shutter") à des vitesses d'obturation très rapides montrant des objet mouvant figés par la vitesse de l'obturateur mais déformés dans l'image.

Dans le cas de l'obturateur mécanique en mode vitesse rapide (voir la section sur l'obturateur) la surface du capteur n'est jamais exposé entièrement, il existe une fenêtre glissante exposant seulement une partie du capteur au moment de l'exposition alors les objets mouvants peuvent encore se déplacer le temps que la fenêtre arrive jusqu'en bas du capteur.

Dans le cas de l'obturateur électronique la lecture du capteur se faisant ligne par ligne après l'exposition alors les objets mouvants peuvent encore se déplacer le temps de la lecture complète des photosites du capteur. Ce temps de latence de lecture "Readout Speed" peut varier de 1 sec sur un Sony A7RV à 3.7 msec sur un Nikon Z9.

Pour éliminer ce phénomène il faudra utiliser des capteurs dit empilés qui permettront des vitesse de lecture beaucoup plus rapides.

## 11.8 Electronic Shutter

Il s'agit de l'obturateur électronique qui permet des vitesse d'obturation plus élevée que les classique 1/8000 sec, par exemple 1/180000 sec pour le Fujifilm XH-2. Cet obturateur permet des rafales plus rapide que 10 images /sec.

Inconvénients de cet obturateur :

- Baisse de la plage dynamique (plus de bruit lors de la récupération des ombres)
- Phénomène de "Rolling shutter" déformant les sujets en mouvement

## 11.9 Noise Reduction

Les APN possède la fonction "Noise Reduction" qui consiste à prendre 2 clichés successifs afin d'empiler les 2 images pour augmenter le SNR. Le bruit photonique en particulier étant purement aléatoire la manifestation du bruit sur la première image sera différente sur la seconde image et ainsi le bruit sera moyenné après empilement. Il s'agit de la même technique utilisée par les astro-photographes pour capturer la lumière des nébuleuses. Dans le détail les photons en écarts tombant sur le photosite représentent le bruit "Shot Noise" et en emplilant 2 images leur nombre n'augmente que d'un facteur  $\sqrt{2}$  contrairement au photon du signal qui est bien multiplié par 2 et le bruit au global est multiplié par  $\sqrt{2}$  seulement.

En généralisant si l'on part s'un signal  $S_0$  sur une seule image, le signal résultant de l'empilement de n images vaut  $S = nS_0$  et donc le bruit  $\sigma = \sqrt{n} \times \sigma_0$  et le bruit au global est multiplié par  $\sqrt{n}$ . Donc le bruit augmente moins vite que le signal dans l'image résultante de l'empilement et plus le nombre d'image empilés est important moins le bruit sera important

relativement au signal.

Inconvénients :

- Scène figée
- Trepied obligatoire

## 11.10 Le Crop factor

Le format de capteur le plus en vogue est le Full-Frame et le crop factor est le rapport de la diagonale d'un capteur par rapport la la référence Full-Frame = FF.

Crop Factor

| Format        | Dimension      | Crop | Marques      |
|---------------|----------------|------|--------------|
| Full-Frame    | 24x36mm        | 1.0  | Nikon, Canon |
| APS-C         | 15.6mmx23.5mm  | 1.5  | Fujifilm     |
| Medium Format | 32.9mmx243.8mm | 0.8  | Fujifilm     |

Credit : J.G. Gricourt

Calcul de l'ouverture  $N_1$  d'un objectif FF équivalent à un objectif APS-C d'ouverture  $N_0$  donc montrant le même cadrage (même angle de vue) et même fond flou :

$$N_1 = F_1/D_1 \quad \text{si} \quad D_1 = D_0 \quad \text{pour obtenir le même fond flou}$$

$$N_1 = F_1/D_0$$

$$N_1 = (F_0 \times \text{Crop Factor})/D_0$$

$$N_1 = N_0 \times \text{Crop Factor}$$

*Note : la profondeur de champ et le fond flou dépend de l'ouverture  $D$  pour un angle de vue donné, voir le calcul de la profondeur de champ pour les détails*

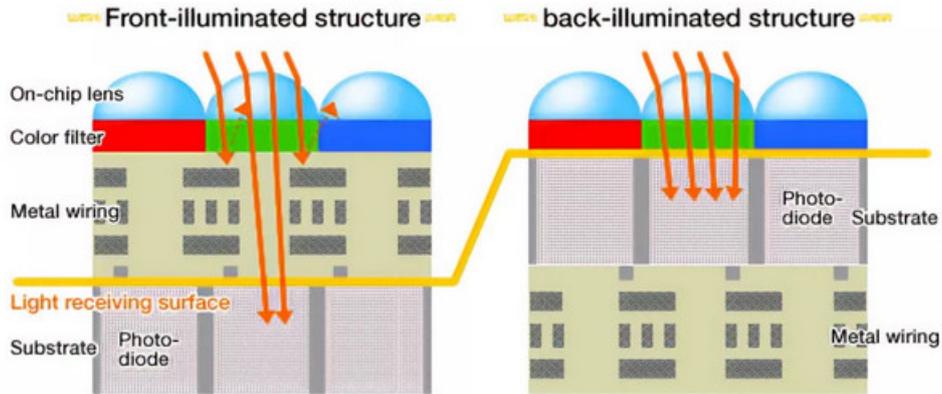
En résumé :

- La focale équivalente (cadrage)  $F_e$  vaut :  $F_e = F \times \text{Crop Factor}$
- L'ouverture équivalente (bokeh) vaut :  $N_e = N \times \text{Crop Factor}$

## 11.11 BSI Sensor

Où "Back Side Illuminated Sensor" est un type de capteur photo CMOS où la lumière ne doit plus franchir la couche correspondant à la circuiterie avant d'atteindre la photo diode.

## BSI Sensor



Credit : Rod Lawton

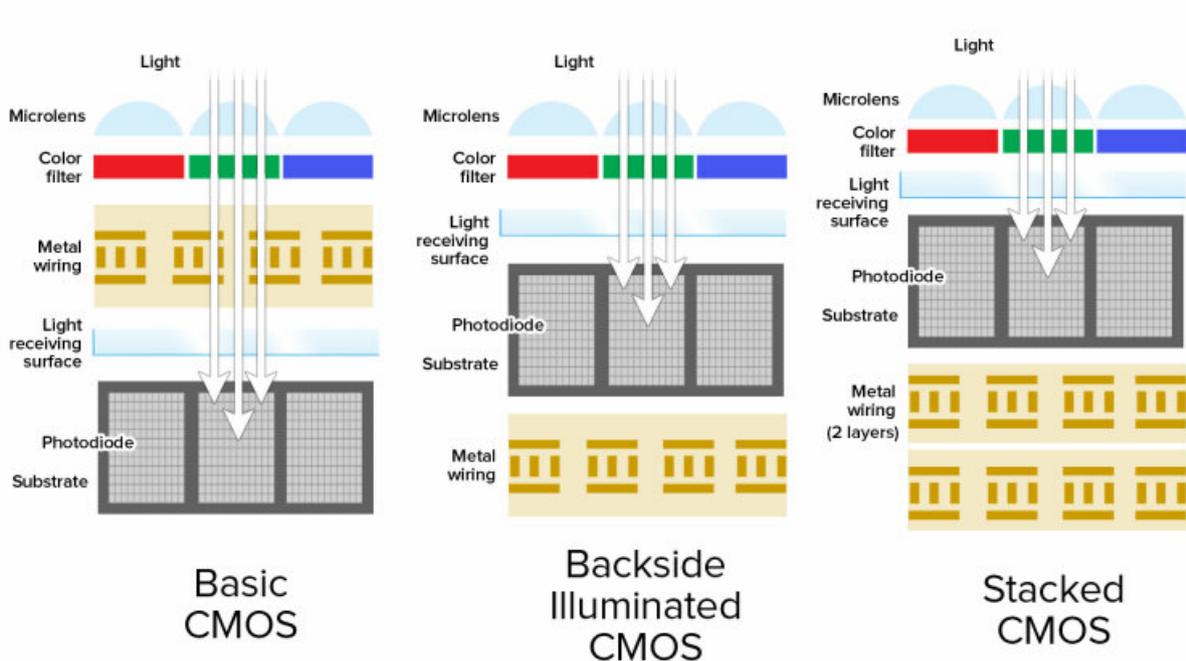
Avantages :

- Sensibilité plus élevée
- Moins de bruit : +1 EV de différence donc par exemple : CMOS BSI ISO 3200 = CMOS ISO 1600
- Vitesse de lecture ligne à ligne du capteur plus rapide

### 11.12 Stacked BSI Sensor

Il s'agit d'un type de capteur photo CMOS BSI = "Stacked" = empilé et reposant sur une puce de RAM ultra rapide afin d'améliorer encore la vitesse de lecture d'un facteur 20. Ce type de capteur est plus rapide à la lecture du capteur que les capteurs BSI non "Stacked".

#### Stacked BSI Sensor



Credit : Jim Fisher

Avantages :

- Vitesse de lecture ligne à ligne du capteur plus rapide
- Mode rafale de l'obturateur électronique sans "Blackout" et sans effet de "Rolling Shutter"
- Mode vidéo avec moins d'effet de "Rolling Shutter"
- Autofocus plus nerveux en mode suivi auto pour le suivi de sujets très rapide

Inconvénients :

- Il y a plus d'électronique devant les photosites donc de la lumière est perdue, ce qui conduit à une baisse de "Dynamic Range" (voir Sony Alpha 1) ce qui limite la possibilité de réhaussement des ombres en post traitement car le bruit apparait beaucoup plus vite
- Le caractère ISO invariant est aussi plus limité, la récupération des ombres en post traitement génère plus de bruit

Bien que la vitesse de lecture est accélérée il s'agit d'un capteur CMOS à "Rolling Shutter" et non à "Global Shutter" donc les inconvénients de banding sous certaines lumières artificielles ou les déformations des objets = "Skewing" = "Warping" en mouvement rapide existent toujours. Seul un capteur à "Global Shutter" permet de s'affranchir de ces défauts et même de se passer de l'obturateur mécanique.

### 11.13 Global Shutter Sensor

désigne un capteur capable de lire l'image non pas ligne par ligne mais globalement donc à une vitesse bien plus élevée qu'un capteur performant comme le "Stacked BSI Sensor". Dans ce cas le temps de latence de lecture du capteur en entier est proche de 0 msec. Ce type de capteur se trouve pour la première fois sur le Sony A9 III.

Problème résolu par ce type de capteurs :

- Permet une vitesse d'obturation très élevée ex : 1/80 000 sec
- Les objet en mouvement rapide ne sont plus déformés sur la photo (un ballon de football devient ovalisé sur l'image)
- Les éclairage artificiels à lumière pulsante (tel un flash en mode HSS) à une certaine fréquence ne provoquent plus de banding sur les images
- Le flash n'est plus limité à la vitesse de synchro flash = 1/250 sec
- Des rafales ultra-rapide (limité que par le buffer) ex : 120 images/sec sans "Black Out" pendant la rafale (le rideau mécanique coupe la vue entre 2 clichés successifs)
- De la vidéo est possible en pleine résolution du capteur donc sans crop
- De la pre-capture = prise de photos pendant l'appuie à moitié sur le shutter (vide le buffer au fure et à mesure)

Au final cet obturateur électronique peut complètement remplacer l'obturateur mécanique.

## 12 Technologies des APN - 2

### 12.1 Auto Bracketing

TODO ...

### 12.2 Focus Bracketing

TODO ...

### 12.3 Anti Flicker

Certaines lumières artificielles comme les néons fluorescents émettent de lumière à une certaine fréquence et non en continu. Lors de la prise de vue en mode vidéo il est possible de voir apparaître du “Banding” = bandes sombres et certain phénomènes d’oscillation sombre / clair sur certaines partie claire de la scène. Pour corriger ce problème il faut adapter la vitesse de la prise vidéo afin que celle ci corresponde à un multiple de la fréquence de l’éclairage. Par exemple les tubes néon en France s’allument à chaque pic de la tension alternative de 50 Hz donc 2 fois par cycle soit à une fréquence de 100 Hz. Certains APN proposent un mode anti-flicker en déterminant automatiquement la bonne fréquence de prise de vue.

### 12.4 HDR

TODO ...

### 12.5 La stabilisation

Appelé aussi “IBIS”, la stabilisation peut se retrouver soit sur le capteur soit sur l’objectif ou les 2. Celle ci concerne surtout les boitiers hybrides dotés de capteurs gyroscope, accéléromètre et de capacité de calcul temps réel plus importante. La stabilisation du capteur se fait sur 5 axes, et permet d’abaisser le temps de pose de plusieurs stops (par exemple 0.25 sec) tout en évitant le flou de bouger dû aux tremblements “Camera Shakes”.



Credit : [What You Need to Know About In-Body IS](#)

### 12.6 PSNR

Signifie littéralement = “Peak Signal to Noise Ratio”, il s’agit de la valeur maximale du SNR dans une image. Cet indicateur permet d’évaluer la qualité ou plutôt la proximité d’une image résultat de la reconstruction d’une image après application d’un algorithme, ex : décompression ou dématricage.

### 12.7 Pixel Shift

Il s’agit d’une technique que l’on trouve dans les hybrides dotés d’un capteur haute résolution de 40Mpix au moins, celle ci permet de multiplier par 4 la résolution native du capteur en pixel sans changer le cadrage de l’image. L’APN va réaliser 4 images de la scène dans le même instant mais en décalant légèrement le capteur (grâce à son système IBIS) pour ensuite recombinaison les 4 images, ainsi la résolution native 40Mpix peut être exploitées pour former une image de 160Mpix.

Avec un dématricage classique chacun des 4 photosites colorés ne voit qu'un quart du champ et les 3 couleurs de l'unique pixel sont déduites par l'algorithme de dématricage. Avec cette nouvelle technique chacun des 4 photosites colorés voit la totalité du champ en prenant 4 photos.

Cette technique est adaptée pour des scène où rien ne bouge pour éviter les artefacts à la reconstruction effective de l'image.

Pentax DSLR Features Pixel Shift Demosaic

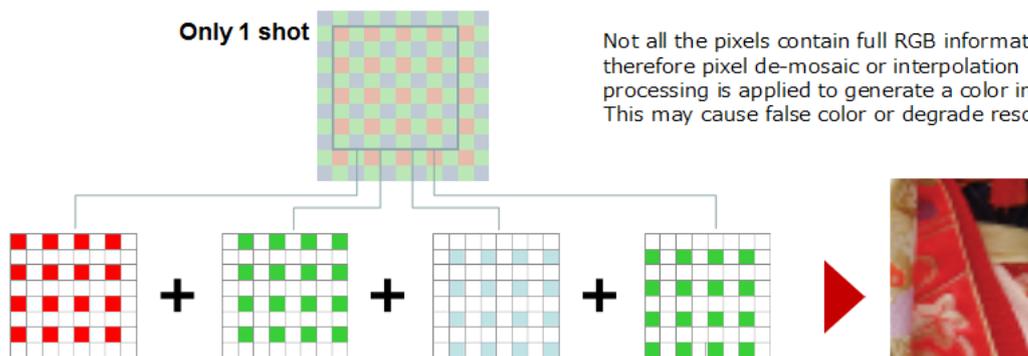
## The Difference from Normal Shooting Method

### Normal

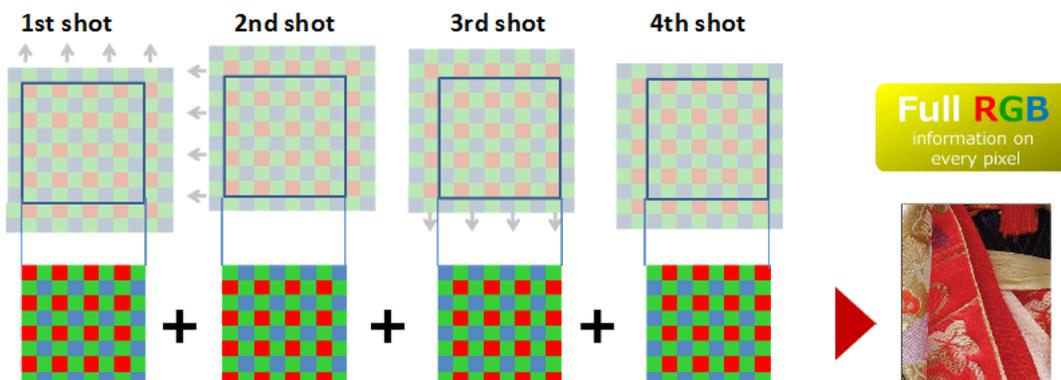
Bayer type filter array

Only 1 shot

Not all the pixels contain full RGB information, therefore pixel de-mosaic or interpolation processing is applied to generate a color image. This may cause false color or degrade resolution.



### Pixel Shift Resolution



Credit : Vladimir Koifman

Effets attendus

- Augmentation de la résolution de l'image
- Augmentation de la DNR de 1 EV dans l'image

## 12.8 Astrophoto

L'astrophoto consiste capturer les très faibles lueurs des nébuleuses du fond du ciel ou de prendre le cliché des planètes. La photo du ciel profond nécessite de juguler le bruit dans l'image car il y a très peu de photons atteignant la surface du capteur.

Techniques ciel profond :

- On pourra allonger le temps de pose mais alors cela nécessitera un suivi du mouvement du ciel performant à l'aide

d'une monture équatoriale

- On pourra prendre plusieurs clichés puis les assembler = “Stacking” afin d'augmenter le SNR en noyant le bruit dans l'image
- On peut appliquer la règle de 3 sigmas pour choisir le temps de pose unitaire des clichés :  $\sigma_{\text{shot}} > 3 \times \text{RN}$  afin de s'assurer que le signal ne soit pas noyé dans le bruit généré par le capteur.

Techniques ciel planétaire :

- On pourra utiliser des poses très courtes car les planètes sont suffisamment lumineuses
- On pourra prendre plusieurs clichés puis les assembler = “Stacking” afin d'augmenter le SNR en noyant le bruit dans l'image

En photo classique diurne on jouera sur l'ouverture et le temps de pose pour augmenter la lumière entrante alors qu'en astrophotographie le diamètre des instruments est fixe car ils fonctionnent tous à pleine ouverture on ne pourra donc jouer que sur la focale à l'aide de barlow et de réducteur de focale.

Le choix de la taille des pixels du capteur = échantillonnage est important en astrophotographie afin d'avoir les plus gros pixels possibles (plus performant pour le bruit) adaptés au seeing du ciel  $R$  (dimension d'une étoile en arcsec). L'échantillonnage vaut :  $e = 206 \times p/F$  où  $p$  la taille des pixels en micromètre,  $F$  la focale de l'instrument en mm et  $e$  la dimension angulaire du ciel en arcsec capturé par 1 pixel. Un bon échantillonnage nécessite au moins :  $R/3 = e$  afin que l'image d'une étoile soit capturée par une matrice de 3x3 pixels.

En général la montée en ISO permettra d'obtenir d'emblée une image plus lumineuse mais dont le bruit ne sera pas préjudiciable à l'image si on pose suffisamment longtemps.

## 12.9 Cine-lenses

Il s'agit d'objectifs dédiés à la vidéo pour la production soit de vlog, de court métrages ou de grandes productions cinématographiques.

Avantages [5]

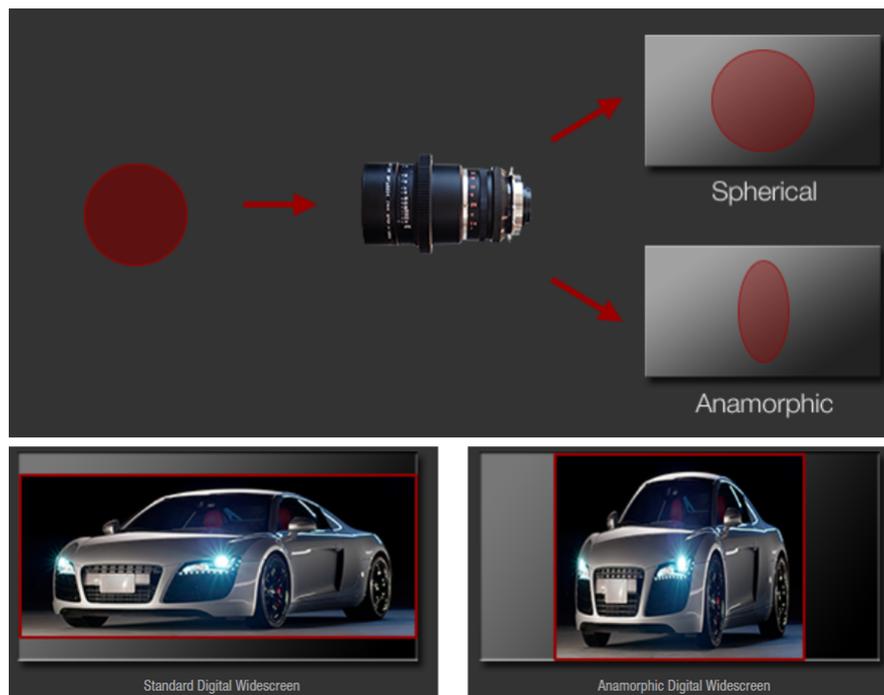
- Construction plus simple que les objectifs photo car pas d'autofocus (facilité pour réparer)
- Construction plus durable car ne contient que des parties en métal
- La bague de mise au point possède une course plus longue et peut être changée très graduellement
- La bague d'ouverture n'a pas de click et peut être changée très graduellement, permis notamment par le diaphragme de type “Iris Ring”
- Les zooms de ce type sont parafocaux donc le changement de focale garde la mise au point
- Le phénomène de “Focus Breathing” est inexistant sur ce type d'objectif (variation dans le cadrage lors de la mise au point)
- L'exposition est mesurée en transmittance T-stops à la place de F-stop, basé sur la mesure réelle de la lumière et non le résultat d'un simple calcul géométrique (F-stop), donc 2 objectifs cinés réglés sur le même T-stops percevront une exposition identique ce qui n'est pas exactement le cas d'objectifs classiques réglés sur le même F-stop.
- Les zooms ne changent pas physiquement de dimension lorsqu'on change de focale ce qui garantit une stabilisation optimale du poids de l'appareil sur son trépied
- Les optiques sont exemptes de vignetting, d'aberration chromatique, de distorsion géométrique = “Barrel Distorsion”, d'inconsistance de piqué entre le centre et les bords
- Ces objectifs produisent naturellement certains effets recherchés au cinéma comme les flares ou des bokeh très doux

Relation entre T-stop et F-stop :  $F\text{-Stop} = T\text{-Stop} / \sqrt{(\text{Transmission}/100)}$ .

## 12.10 Anamorphic-lenses

Il s'agit d'un type de "Cine-Lense" utilisé pour la vidéo permettant de filmer dans un format standard du cinéma sur un capteur de ratio différent. A l'origine ces objectifs étaient utilisés pour compresser les images au format cinéma "Widescreen" sur une pellicule de film standard de 35mm (22 x 16 mm) dont le "Aspect Ratio" était de 4/3 seulement donc plus étroite. Avec un objectif anamorphique les images de la vidéo sont alors étirée verticalement afin que celles ci retrouvent leur "Aspect Ratio" normal (non déformé) une fois étirées à l'horizontal en post production au format "Widescreen" cinéma.

Objectif anamorphique



Credit : [Red Cameras](#)

Formats du cinéma :

- Cinemascope = 2.39 : 1
- Panavision = 2.35 : 1
- Widescreen = 1.85 : 1
- Format TV moderne (16/9) = 1.77 : 1
- Super 35 = 1 : 1

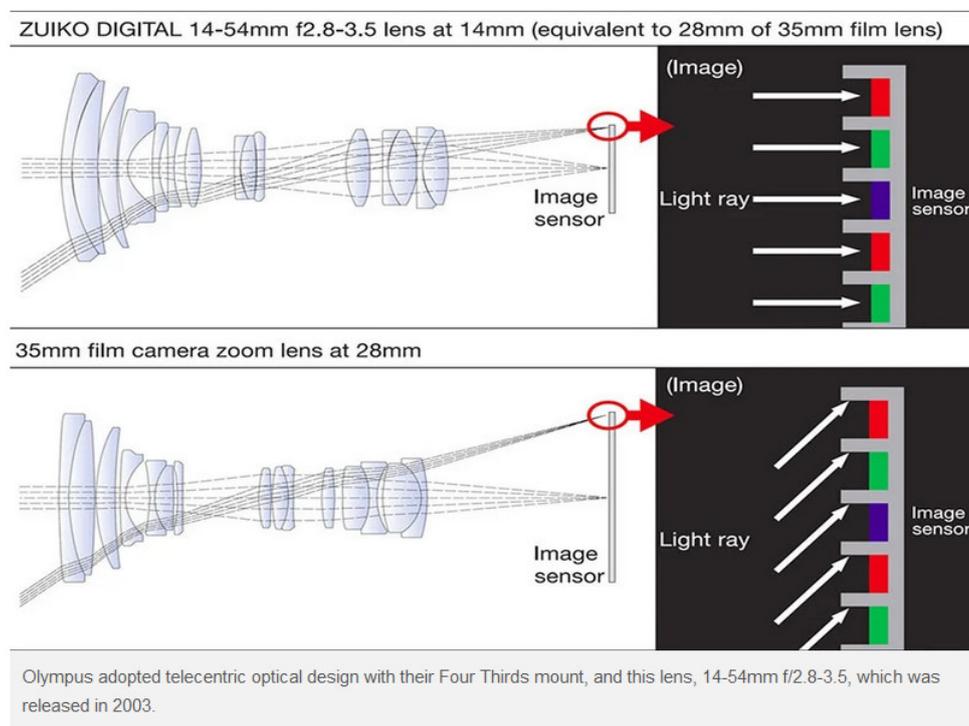
Les objectifs anamorphiques sont connus pour produire beaucoup de flares devant des sources de lumières intenses en raison du nombre important de lentilles. Les flares produits sont étalés en horizontal ce qui est un signe très distinctif dans les productions cinématographiques.

## 12.11 Telecentric-lenses

Les objectifs anciens sont plus rarement télécentrique, c'est à dire que la plupart des rayons du champ en entrée de l'objectif ressortent en frappant la pellicule en faisant un angle et pas de manière perpendiculaire, ce qui toutefois n'est jamais un problème en argentique. En revanche avec des appareils photo numériques, il est plus important que les rayons frappent le

capteur le plus perpendiculairement possible afin d'éviter les réflexions parasites ou la perte de lumière. Donc les objectifs anciens grand angle ayant des angles d'entrée et de sortie important sont mal adapté aux appareils photo numériques.

### Telecentric lens



Credit : [Telecentric Lens Design: Did Nikon and Canon Follow Micro Four Thirds' Lead?](#)

## 13 Monture

La monture est le format d'objectif accepté par un modèle d'appareil photo.

- Canon mount FD (1971) SLR → EF (1987) SLR, DSLR → **RF (2018) Mirroless**
- Nikon mount F, AI, AIS (1959) SLR → AF, AF-D, AF-S (1986) SLR → **Z (2018) Mirroless**
- Sony mount A (1985) → **E (2010) Mirroless**
- Fujifilm mount Fujica X (1979) SLR → Fuji GX-mount (1985) Medium Format → **Fuji X-mount (2012) Mirroless, G-Mount Mirroless (2017) Medium Format**

La monture Z est la monture des hybrides de dernières génération chez Nikon :

Sites :

- [Nikon - Z mount Lenses](#)
- [I Ranked All Nikon Z Lenses by Value for Money!](#)
- [Nikon Film Simulation](#)

Beaucoup d'objectifs même premium de chez Nikon sont issus de designs de chez Tamron.

## 14 Moteurs autofocus Canon

Il existe actuellement 3 motorisations d'autofocus intégrés dans les objectifs Canon : USM, STM, Nano USM et VCM

- USM = “Ultrasonic Motor” produit en 1987 (appelé HSM chez Sigma), constitué de couronnes vibrantes il permet un autofocus plus rapide que le STM ou le VCM, il est plus adaptés à la photo de sport avec des objectifs lourds
- Micro USM et Nano USM sont de dérivés de l’USM miniaturisés pour des objectifs bas de gamme
- STM = “Stepping Motor Technology” produit en 2012, constitué d’engrenages hélicoïdaux il permet un focus progressif plus adaptés pour la vidéo
- VCM = “Voice Coil Motor” produit en 2024, constitué d’un moteur pas à pas il permet un focus progressif plus adaptés pour la vidéo

## 15 Adaptateur Speed Booster

Appelé aussi “Focal Reducer” ce type d’adaptateur permet de connecter un objectif “Full Frame” sur un boîtier APS-C sans perte d’angle de vue. L’adaptateur “Speed Booster” comporte une lentille permettant de focaliser le cercle image dans l’espace du capteur APS-C ce qui permet à la focale de l’objectif de devenir native pour ce boîtier. Par exemple un objectif de 50mm FF deviendra donc l’équivalent d’un 33mm (50/1.5 le crop factor). L’ajout d’une lentille externe est toujours préjudiciable à la qualité de l’image : introduction d’aberration chromatique, baisse de piqué, déformations géométriques.

## 16 Termes de la photo

### 16.1 Hybrides / Mirrorless

Les APN dit mirrorless ou hybrides font référence aux successeurs des appareils réflexe ou dit DSRL doté de miroirs et de visée naturelle à prisme. Il y a beaucoup de différences entre ces 2 technologies, cependant les APN mirrorless ne font pas encore totalement l’unanimité parmi les professionnels encore aujourd’hui [106, 89].

Caractéristiques :

- Ces APN montrent dans le viseur l’image avec la luminosité permise par l’ouverture et la compensation d’exposition sélectionnée mais aussi avec la simulation de film choisie = “What you see is what you get”
- Ces APN sont plus sensibles aux vibrations car le capteur est découvert en dehors de la prise de vue (voir synchro des rideaux)
- Ces APN sont dotés de capteurs stabilisés sur 3 axes permis par l’ajout de capteurs gyroscope, accéléromètre et de capacités de calcul temps réel
- Ces APN sont plus silencieux avec le mode électronique shutter et donc plus adapté à la photo animalière
- Ces APN utilisent des fonctions AF dotées d’IA permettant un suivi des cibles visées en mouvement
- Ces APN sont dotés de viseur électronique et peuvent afficher plus d’informations sur la prise de vue
- Ces APN sont dotés de viseur électronique et peuvent couvrir toute la surface du capteur avec des collimateurs d’AF de taille variables
- Ces APN sont dotés d’un mode rafale plus rapide et performant couplé au suivi intelligent (IA) permit par les capacités de calcul temps réel
- Ces APN sont en théorie moins lourds, cependant les quant à eux objectifs eux restent aussi volumineux et lourds sauf dans le cas des hybrides APSC
- Ces APN consomment beaucoup plus de batterie en raison du viseur électronique (EVF)

Exemple de consommation de batterie (mesures CIPA) : Canon R6 II 360 shots, Nikon Z6 II 410 shots, Sony A7RIV 580 shots, Fujifilm XH-2 680 shots and the new XS-10 325 shots ... et un DSLR par exemple un Nikon D750 pouvait prendre

1300 shots avec une seule batterie.

## 16.2 Candid Photography

La pratique consistant à prendre de clichés sans préparation, sur le vif.

## 16.3 Bokeh

Un terme japonais :

暈け

désignant le rendu de la partie hors champ de la photo qui peut être plus ou moins flou selon la profondeur de champ choisie mais aussi de l'objectif utilisé. Le flou hors champ est accentué si :

- On éloigne le sujet du background (impossible à réaliser en intérieur)
- On se rapproche du sujet
- On augmente l'ouverture par exemple F/2.8, F/2.0, F/1.4
- On augmente la focale de l'objectif par exemple un télé-objectif de 135mm
- On utilise un capteur plus grand sans changer le cadrage donc avec l'utilisation d'un objectif de focale plus courte
- On utilise un objectif macrophoto avec un rapport de reproduction 1 :1 ou bien on ajoute une bague entre l'objectif et le boitier
- On diminue le vitesse de l'obturateur à 1 sec si le background est dynamique (la foule) et le sujet est immobile.

On parlera d'un Bokeh nerveux lorsque le flou d'arrière plan sera plus texturé avec des formes plus contrastée et d'un Bokeh doux lorsque le flou d'arrière plan sera moins contrasté et plus uniforme, c'est souvent ce dernier qui est recherché afin de mieux détacher le sujet de l'arrière plan. On parle de "Back Bokeh" et de "Front Bokeh" lorsque des éléments placés derrière ou devant le sujet sont rendu flou lors de la mise au point.

## 16.4 Pixel Peeper

La pratique de systématiquement agrandir la photo affichée sur un écran à 100% afin d'en juger la résolution. Les adeptes de cette pratique ont tendance à juger la réussite d'un cliché par la résolution acquise dans l'image ce qui est réducteur cependant profiter de la résolution de capteur à haute densité en pixels permet de découvrir de menus détails dans l'image.

[Ken Rockwell](#) à dit : "Lens sharpness has nothing to do with picture sharpness ; every lens made in the past 100 years is more than sharp enough to make super-sharp pictures if you know what you're doing. The only limitation to picture sharpness is your skill as a photographer. It's the least talented who spend the most time worrying about lens sharpness and blame crummy pictures on their equipment rather than themselves. Skilled photographers make great images with whatever camera is in their hands"

## 16.5 GAS

Signifie "Gear Acquisition Syndrome", un état d'esprit du photographe amateur centré sur l'achat des derniers matériels sortis [40].

## 16.6 WAF

Signifie "Wife Approval Factor" ou "Wife Acceptance Factor", le design ou l'usabilité d'un équipement qui fera mieux accepter un achat dispendieux dont le seul utilisateur sera le mari.

## 16.7 Vemödalen

Un terme suédois désigne la peur que l'originalité n'est plus possible = "The Fear That Originality Is No Longer Possible". En photo ce terme désigne la frustration de ne pas parvenir à photographier quelque chose d'original. Lors de ses vacances à New-York on pense avoir réalisé la photo du siècle en prenant la vue plongeante sur Manhattan depuis le sommet du "Top Of The Rock" et en rentrant de vacances on constate que sa photo a déjà été prise des milliers de fois toutes identiques !

## 16.8 BIF

Signifie "Birds In Flight", un genre de photographie animalière.

## 16.9 SOOC

Signifie "Straight Out Of The Camera", il s'agit de la photo JPEG sortant du boîtier sans retouche, sans post traitement à l'aide de LightRoom ou Photoshop par exemple.

## 16.10 Science Of Color

Il s'agit du rendu des couleurs d'un boîtier ou d'une marque. Fujifilm propose dans son boîtier la possibilité de simuler des rendus argentiques.

## 16.11 IQ

Signifie "Image Quality" en référence au menu présent dans bon nombre d'APN dont Fujifilm.

## 16.12 EVF

Signifie "Electronic View Finder", désigne l'écran électronique permettant de voir la scène avant de déclencher la photo. L'EVF a remplacé le prisme du viseur sur les hybrides.

## 16.13 B-Roll

Désigne le plan secondaire dans une vidéo permettant d'illustrer une sous partie du plan principal. Si le A-roll raconte par les mots, le B-roll montre grâce aux images.

## 16.14 N-Log

Le format N-Log décliné selon les constructeurs en S-Log = Sony, F-Log = Fujifilm, C-Log = Canon est un format vidéo RAW produisant des fichiers relativement légers. Les images obtenues (courbe gamma et matricage) sont plates et donc constituées de niveaux de gris sans relief très peu flatteur lorsque l'on visionne le rush des vidéos bruts. Il faut alors appliquer LUT = Look Up Table (ou table de conversion) à l'aide d'un logiciel de post production, ex : Da Vinci Resolve ou Final Cut, afin de retrouver des tonalités éclatantes dans l'image. Il existe des LUT simulant des rendus cinématographiques, il est ensuite possible encore d'ajuster la colorimétrie à partir d'une LUT.

## 16.15 Open Gate Recording

Il s'agit d'une mode vidéo exploitant la totalité de la surface du capteur. Ce mode permet de faire plus facilement des crops en post production si nécessaire.

## 16.16 Focus Breathing

Désigne une caractéristique de certains objectifs qui ont tendance à changer d'angle de vue et donc de focale lorsque l'on réalise la mise au point. Ce problème est ennuyeux en vidéo car il est clairement visible alors qu'il n'a aucune conséquence en photo hormis changer un peu l'angle de vue.

## 16.17 Objectif Parafocal

Désigne un objectif zoom dont aucune correction de mise au point n'est pas nécessaire lorsque l'on change la focale. Le rattrapage de mise au point est ennuyeux en vidéo car on voit clairement l'image passer de flou à nette lorsque l'on change la focale.

## 16.18 Mirror Slap

Désigne un flou de bougé provoqué par le mouvement du miroir au moment d'une prise de vue.

## 16.19 Shutter Shock

Désigne un flou de bougé provoqué par le mouvement du rideau de l'obturateur (Shutter) au moment d'une prise de vue en rafale.

Avec les APN de type DSLR = Reflex le capteur est déjà couvert avant de prendre la photo vue que le visée se fait par le prisme optique donc la prise de vue ne produit que 2 mouvements :

1. Le rideau avant se baisse et découvre le capteur
2. Le rideau arrière se baisse et couvre le capteur

*Note : en basse vitesse le capteur est découvert entièrement après l'étape 1, en haute vitesse l'étape 2 démarre alors que l'étape 1 n'est pas achevée ce qui fait que le capteur n'est jamais découvert entièrement, seule une fenêtre (visuellement une bande noire) étroite découvre le capteur le temps de la pose.*

Avec les APN de type hybride le capteur est découvert avant de prendre la photo vue que le visée se fait par le viseur électronique (utilisant le capteur pour produire l'image) donc la prise de vue produit 3 mouvements :

Ex : Sony A7R2<sup>4</sup>

1. Le rideau avant se baisse et couvre le capteur
2. Le rideau avant se relève et découvre le capteur
3. Le rideau arrière se relève et couvre le capteur

Ex : Fujifilm X-PRO1<sup>5</sup>

1. Le rideau arrière se relève et couvre le capteur
2. Le rideau arrière se baisse et découvre le capteur
3. Le rideau avant se baisse et couvre le capteur

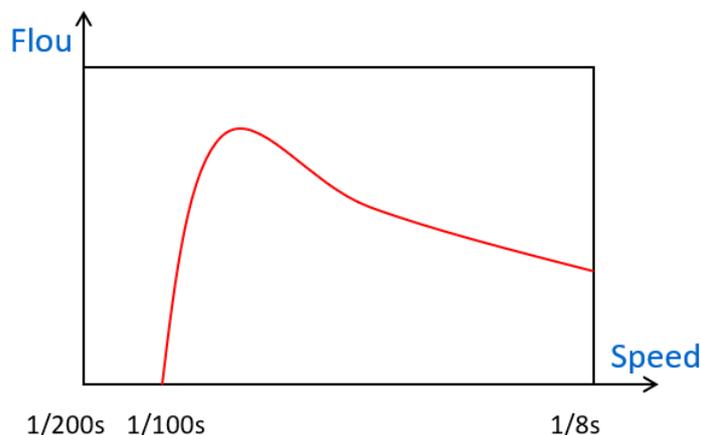
Donc les hybrides sont en théorie plus sensibles aux vibrations.

Ce flou de bougé n'est présent qu'à certaines vitesses pour un couple boitier + objectif.

---

4. [Les modes d'obturation Sony A7R2 expliqués en super ralenti](#)

5. [Slow motion camera shutter - Fujifilm X-PRO1 \(2,000 fps\)](#)



Credit : [Shutter Shock : la raison de toutes vos photos floues ?](#)

Le test consiste à prendre des clichés à différentes vitesses d'un sujet proche, en utilisant un APN à capteur haute définition sur trépied et un objectif macro (car très définit) et en déclenchant en utilisant une télécommande. L'évaluation se fait en zoom à minima à 100% dans l'image produite.

Il est possible de s'affranchir complètement de ce flou de bougé sur hybride si on utilise

- Le shutter électronique ce qui sera adapté pour des sujets quasiment immobiles (pas d'effet Rolling Shutter).
- L'obturateur premier rideau = "Electronic Front Curtain Shutter" = "EFCS"

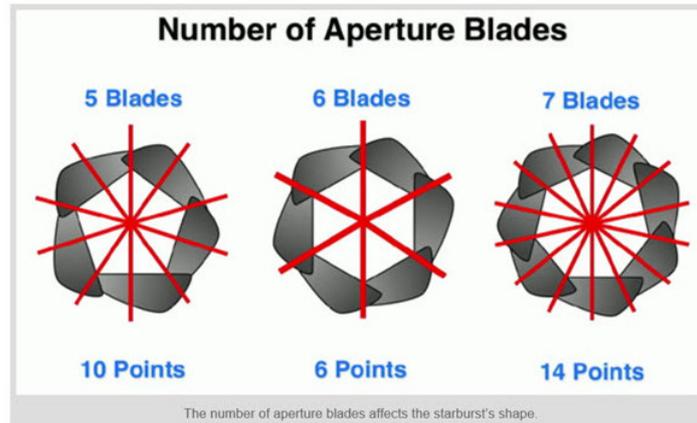
## 16.20 Focus Throw

Il s'agit le nombre de degrés de rotation nécessaire de la bague de mise au point afin de parcourir la plage de distance de la plus petite distance de mise au point jusqu'à l'infini.

## 16.21 Sun Stars

Appelé aussi "Starburst" désigne l'aspect d'étoile à branches multiples des sources lumineuse sur certaines photos. Il s'agit d'un phénomène de diffraction qui apparait lorsque l'on ferme au maximum le diaphragme. Dans ce cas la résolution de l'objectif diminue fortement. On peut produire cet effet de jour en visant le soleil ou de nuit en visant des lampadaires. Le nombre de branche des étoiles produites dépend du nombre de lame du diaphragme de l'objectif utilisé.

## Star Burst



Credit : [Rajib Mukherjee](#)

La règle est que le nombre de branches est le même que le nombre de lames si celui-ci est pair et sinon le double si le nombre de lames est impair.

### 16.22 Zone Focusing

Désigne une implémentation de la mise au point que l'on trouve en général sur des boîtiers basiques (ex : le récent Pentax 17) qui consiste à sélectionner par incrément via une molette ou une bague la distance de mise au point souhaitée. Ce système est différent de l'Auto-Focus où l'appareil détermine automatiquement cette distance en fonction de l'objet visé dans le viseur.

### 16.23 Focus Tracking

Désigne le mode d'autofocus permettant de suivre un sujet alors qu'il est en mouvement afin que celui-ci soit net à tout instant avant le déclenchement. Le "Focus Tracking" exploite le mode AF-C = "Continuous Autofocus" = "AF Servo" qui assure la netteté d'une zone définie dans l'image. De nos jours l'appareil photo est capable de reconnaître le type de sujet : humain (yeux), animal, oiseau, insecte, véhicule, avion etc ... et de le suivre à tout instant.

La performance de l'autofocus dépend de :

- La vitesse de lecture du capteur, est plus le capteur est dense en pixels et plus la lecture sera lente et l'autofocus moins performant.
- Du processeur d'IA inclus dans l'APN et capable de reconnaître la nature du sujet suivi pour mieux cibler une zone (œil)

A noter que sur des sujets peu immobiles le mode AF-C n'est pas pertinent, le photographe pourra continuer de garder le contrôle en utilisant le mode AF Single Point.

### 16.24 OCF

Signifie "Off Camera Flash" et désigne un flash sur pied mobile souvent utilisé en extérieur et contrôlé à distance par l'appareil photo.

## 17 La photo argentique

### 17.1 La pellicule photo

Les pellicules photos couleur classiques qu'elles soient en 120 (grand format) ou 135 (format 24x36) utilisent le processus chimique C-41 chez Kodak = CN-16 chez Fuji, CNK-4 chez Konica, AP-70 chez Agfa [39, 121].

Pellicules couleur réputées pour la qualité de leurs photo et la qualité du rendu et la finesse du grain :

- Kodak Ektar 100 pour les diapositives
- Kodak Portra 400 pour les photos imprimées
- Kodak Gold 200 pour les photos imprimées

La Portra 400 est un film récent (2010) qui à la capacité d'encaisser sans problème une sur-exposition de 3 stops, elle permet de continuer de produire des clichés de portrait à grande ouverture lorsque le ciel passe de nuageux à grand soleil et ce même si la vitesse de l'appareil est techniquement limité à 1/1000 sec [141].

Liste des pellicules d'hier et d'aujourd'hui :

- [List of photographic films](#)
- [List of discontinued photographic films](#)
- [Chronology of Kodak films](#)

Autrefois les films noir et blanc étaient dit "Orthochromatique", ils étaient insensibles à la couleur rouge, on pouvait les développer dans un labo éclairé par une lumière rouge. Les zones de couleur rouge de la pellicule était alors faiblement noircies ce qui au développement se traduisaient par des zones fortement noircies donc avec perte des détails. Les film modernes couleur ou noir et blanc actuels sont tous "Panchromatique" c'est à dire qu'ils reproduisent la sensibilité chromatique de la vision humaine jusqu'au rouge.

Différentes émulsions et processus chimiques :

- Noir & Blanc
- C-41 : Kodak Gold, Kodak Ektar, Kodak Portra sont des films utilisés pour produire des tirage couleur à partir de négatifs
- E6 : Kodak Ektachrome ou E100, Fuji Velvia, Fuji Provia, Fuji Astia sont des filmes utilisés pour produire des diapositives couleur à partir de positifs
- ECN-2 : CineStill, Silbersalz35, Kodak Vision 3, sont des filmes issus des bobines de cinéma et sont utilisés produire des tirage couleur à partir de négatifs

Les filmes E6 = le film couleur reversible = film positif = "Slide Film" = "Reversal Film" utilisés pour les diapositives possèdent un grain plus fin que les films C-41 et ne se trouvent qu'en ISO 64. Les pellicules diapo sont sensibles à la sur-exposition qui produira alors une dérive des couleurs.

Depuis les années 80s pellicules C-41 étaient développées par des machines professionnelles automatisées (C41 film processor) appelées minilab capables de développer les pellicules, de les scanner puis de les imprimer.

- Durst RCP50 Couleur
- Noritsu QSF-V50
- Fujifilm Frontier 570

— Konica minilab R2 plus

Le code DX présent sur la tranche de la capsule des pellicules permet aux boitiers réflexes modernes ou aux appareils de type “Point and shoot” de détecter la valeur d’ISO de la pellicule pour ajuster automatiquement la sensibilité.

Le film de la pellicule neuve est constituée d’une fine couche = émulsion de sels d’halogénure ( $\text{AgX}$ ) = “Silver Halide” dit aussi sels d’argent baignant dans une gélatine. Il existe différents type d’halogénures utilisés en photo argentique :

- $\text{AgBr}$  = Bromure d’argent
- $\text{AgCl}$  = Chlorure d’argent
- $\text{AgI}$  = Iodure d’argent

En l’absence de lumière il se forme un halogénure lorsque différents sels sont mélangés [61, 10] :

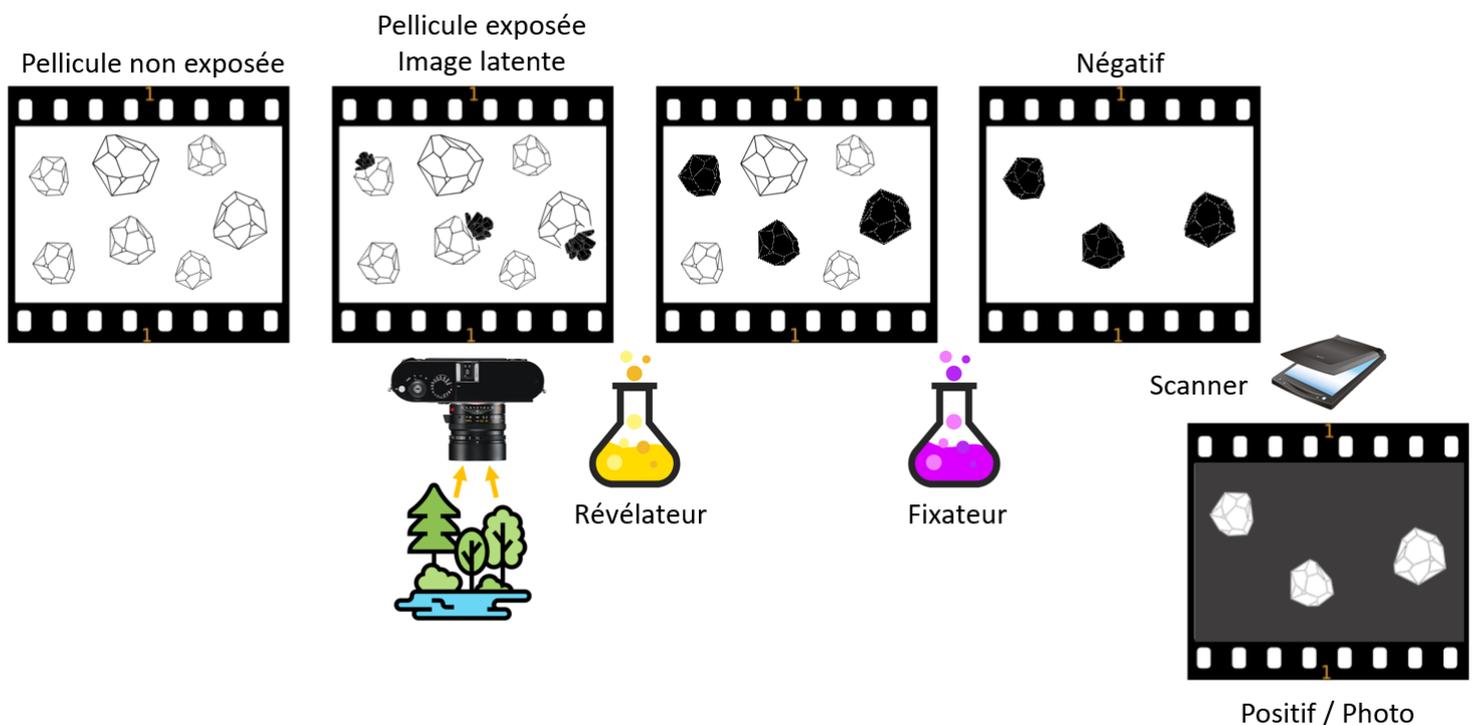


Soumis à l’exposition de la lumière c’est une réaction chimique d’oxydo réduction qui se produit [61, 10] (voir aussi les défauts de Frenkel) :



Il se forme alors des agrégats d’atomes d’argent (en noir sur l’illustration) sur la surface des cristaux d’halogénure, qui devient alors un cristal d’halogénure sensibilisé (activé), on parle alors d’image latente qui reste invisible [150]. C’est le développement qui permettra de transformer la totalité du cristal d’halogénure en cristal d’atomes d’argent pour former le négatif, l’image devient visible mais dont les tonalités sont inversées, les zones fortement exposée sont sombre / noire et les zone faiblement exposée restent blanche.

### La pellicule et le développement



Credit : J.G. Gricourt

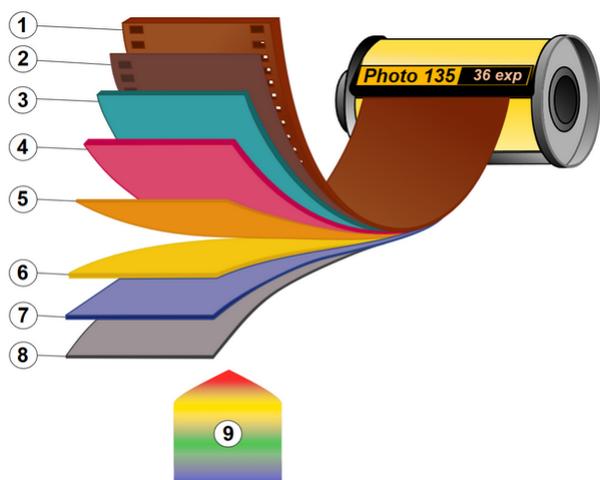
La taille du grain du film se mesure indice RMS (mesure de la variation moyenne de densité sur la surface du film), celui sera d'autant plus petit que la pellicule sera moins sensible (bas ISO).

- Kodak Ektar 100 - RMS = 7 / 8
- Kodak Color Plus 200 - RMS = 13
- Kodak Gold 200 - RMS = 14
- Kodak Ultra Max 400 - RMS = 12 / 13
- Kodak Portra 160 RMS = 7 / 8
- Kodak Kodachrome 200 - RMS = 7 / 8
- Kodak Ektachrome 100 - RMS = 8
- Kodak TMAX 100 (noir et blanc) - RMS = 8
- Kodak Portra 400 RMS = 10
- Kodak TRI-X 400 (noir et blanc) - RMS = 17
- Fuji ACROS 100 (noir et blanc) - RMS = 7
- Fuji Fujicolor Pro 160 - RMS = 6
- Ilford Delta 100 (noir et blanc) - RMS = 7
- Ilford HP5 Plus 400 (noir et blanc) - RMS = 13
- Fomapan 100 (noir et blanc) - RMS = 13 / 14
- AgfaPhoto APX 400 (noir et blanc) - RMS = 14

Les négatifs couleur sont une technologie beaucoup plus complexe que le noir et blanc. En effet la pellicule doit comporter en plus des 3 couches sensible à 3 couleurs. Chaque couche de couleur de la pellicule comporte une couche de gélatine (l'émulsion) dans laquelle baigne des cristaux d'halogénure ainsi que qu'un colorant jaune, magenta ou cyan. En plus des couches sensibles la pellicule comporte [62] :

- Des colorants de masquage = coupleurs colorés = “Dye Coupler” jaune, magenta, cyan qui seront activés au moment du développement pour former la couleur de base. Plus tard ces couleurs de base seront ensuite transformées en vraies couleurs par soustraction au tirage.
- Un filtre jaune pour empêcher la lumière bleue de contaminer les autres couches [153, 62] car tous les cristaux d'halogénure qu'ils soient sensibles au vert ou au rouge sont aussi naturellement très sensibles à la lumière bleue.
- Des couches de gélatine anti-bavures qui protègent les couches inférieures afin d'éviter que les couleurs bavent
- Une couche anti-halo = jet back afin d'éviter les halo autour des sources ultra-lumineuse de la photo exposée. Cette couche absorbe la lumière restante ayant été absorbée par le film l'empêchant de revenir en arrière par réflexion accidentelle.

### Les couches de la pellicule couleur

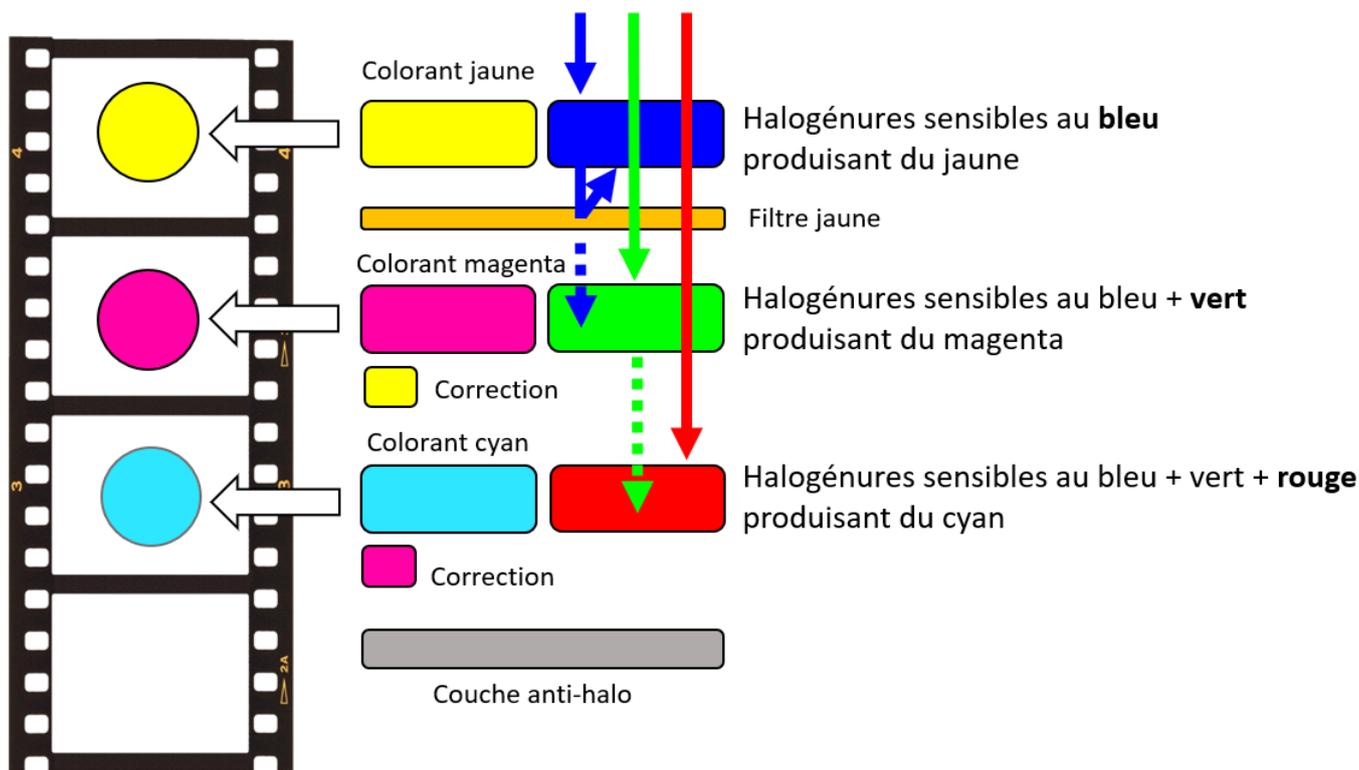


1. Film base
2. Subbing layer
3. Red light sensitive layer
4. Green light sensitive layer
5. Yellow filter
6. Blue light sensitive layer
7. UV Filter
8. Protective layer
9. Visible light exposing film

Credit : J.G. Gricourt

Si de la lumière bleue traverse la couche et contamine la couche sensible au vert alors la reproduction (réponse) de la couleur magenta sera incorrecte, de même que si de la lumière bleue traverse la couche et contamine la couche sensible au rouge alors la reproduction (réponse) de la couleur cyan sera incorrecte. Pour éviter cet effet on rajoutera un peu de colorant jaune dans la couche sensible au vert et de colorant magenta dans la couche sensible au rouge pour compenser. Ce jaune + magenta ajoutés donneront la couleur orangée à la pellicule exposée [51].

### L'émulsion couleur



Credit : J.G. Gricourt

Puisque la couche d'halogénure pure est naturellement sensible au bleu elle n'a pas besoin d'être chromatisée.

Nom des couches d'halogénure :

- La couche sensible au bleu et produisant la couleur jaune = couche non chromatisée
- La couche sensible au bleu + vert et produisant la couleur magenta = couche orthochromatique
- La couche sensible au bleu + vert + rouge et produisant la couleur cyan = couche panchromatique

Du fait que les colorants = pigments des couches couleurs ne réagissent pas de manière homogènes à la lumière il faut réaliser une correction standard en rajoutant un masque orange (jaune + magenta) sur la pellicule. L'inversion du négatif est prévue pour redonner les couleurs originales mais en raison du masque orange cela se produit avec une légère dérive vers le bleu. Ce bleu est justement la couleur inversée de l'orangée du négatif. En raison de ce masque orange il faudra donc apporter une correction supplémentaire (Photoshop) après inversion pour retrouver les couleurs originales exacts [110].

Au choix :

- Auto-white balance global
- White balance gris sur le bord du film

Après le développement c'est à partir des couleurs de base CMJK que le scanner doit retrouver les couleurs RVB originales capturée par l'émulsion par la conversion suivante :

$$\begin{aligned}\text{Rouge} &= (1 - \text{Cyan}) \times (1 - \text{Noir}) \\ \text{Vert} &= (1 - \text{Magenta}) \times (1 - \text{Noir}) \\ \text{Bleu} &= (1 - \text{Jaune}) \times (1 - \text{Noir})\end{aligned}$$

La pellicule Harman Phoenix est une pellicule en cours de développement dont la version n'est donc pas finalisée, en particulier celle ci est [21] :

- Dépourvue de couche intermédiaire anti-bavure (à vérifier) donc cela donne des couleurs approximatives
- Dépourvue de correction de couleur (à vérifier) donc cela donne des couleurs approximatives
- Dépourvue de masque orange donc cela donne des couleurs très bleues en positif (à corriger avec Photoshop)
- Dépourvue de masque anti-halo donc les lumière vives : reflets, lampadaires forment des halos de lumière importants

Ce sont ces défauts qui lui donne ce rendu si particulier.

Les films dit "Chromogènes" sont des films utilisant le procédé C-41 sont essentiellement des films couleurs mais peuvent aussi être dans de rares cas du noir et blanc comme la Ilford XP2 qui est la base de la Phoenix noir et blanc (couleur violette et non orange du film non exposé).

## 17.2 La pellicule cinéma ECN-2

La pellicule utilisée depuis longtemps dans le cinéma est une pellicule spécifique qu'il est aussi possible d'utiliser pour faire de la photo.

Caractéristiques [7] :

- Elles possèdent une latitude d'exposition très importantes et un plage dynamique très importante entre "Bright Sunlight" et "Low Light"
- Le process de developpement est accéléré (chimie différente du C-41)
- Elles sont dotées d'une protection noire le "Remjet" qui doit être retiré avant le développement
- Une fois développées les images montrent de tons fade = "Flat" afin de capturer le maximum d'information qu'il faudra retoucher = "Color Graded" en post production
- Elles ne se conservent pas longtemps dans l'état non développées et doivent être réfrigéré lorsqu'elles ne sont pas utilisées
- Il existe des pellicules cinéma dédiées à la lumière artificielle au Tungsten 3 200 K (Daylight 5 500 K)

La couche "Remjet" est un couche de carbone (noire) sur le dos de la pellicule utilisée pour protéger le film de l'électricité statique et des rayures car les bobines de films sont enroulées à haute vitesse par la caméra et ce jusqu'à 24 images sec.

Aujourd'hui il existe encore de la pellicule cinéma vendue sous forme de bobine qui permet de réaliser des films à base de pellicules mais aussi de faire de la photo classique.

- Kodak Vision3 50D
- Kodak Vision3 250D
- Kodak Vision3 300T (Tungsten)
- Kodak Vision3 500T (Tungsten)
- Fujifilm F64D
- Fujifilm Eterna 500D
- Fujifilm Eterna 250D
- Fujifilm Reala 500D

## 17.3 L'exposition du film

### 17.3.1 Latitude d'expositon

L'exposition du film argentique répond aux même règles que pour le capteur numérique à ceci près que la sensibilité est déterminée par la pellicule de 100 à 800 ISO. Un effet à prendre en compte est qu'utiliser une pellicule normalement utilisée en intérieur pour de la photo extérieur lors d'une journée ensoleillée ne permettra pas d'utiliser des ouverture importante, d'autant plus que que la vitesse maximale du boitier est limité à 1/1000e. Donc avec une pellicule 400 ISO en extérieur il sera compliqué d'obtenir des portraits avec du flou d'arrière plan donc il sera préférable d'utiliser du 50 ou 100 ISO à la place.

En général il est préférable d'exposer (mesure) pour les parties plus sombre de la photo quitte à surexposer d'autres partie car les film ont une bonne latitude pour reproduire les hautes lumières = highlights.

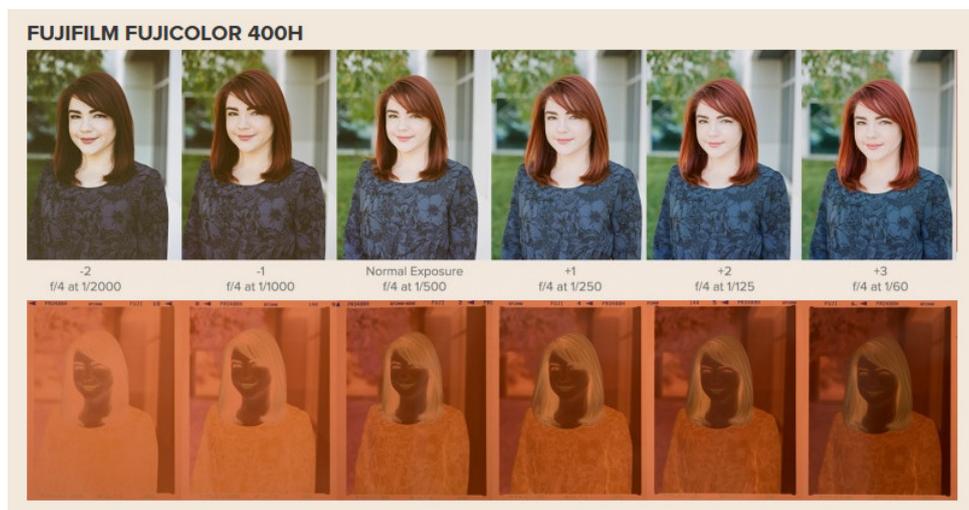
## Usage des ISOs

|                                  | <br>SUNLIGHT | <br>FLASH | <br>ACTION | <br>LOW LIGHT | <br>FAST ACTION | <br>ZOOM |
|----------------------------------|---|--|---|---|--|---|
| <b>100</b><br>OUTDOOR            |   |  |   |   |  |   |
| <b>200</b><br>INDOOR + OUTDOOR   |   |  |   |   |  |   |
| <b>400</b><br>ALL PURPOSE        |   |  |   |   |  |   |
| <b>800</b><br>FAST ACTION + ZOOM |   |  |   |   |  |   |
| <b>1600</b><br>LONG ZOOM + SLRs  |   |  |   |   |  |   |

Credit : J.G. Gricourt

Le film de la pellicule peut supporter une sur-exposition permettant de révéler les détails cachés dans les ombres tout en gardant les détails déjà révélés dans les hautes lumières [20].

## Fujifilm Fujicolor 400H



Credit : Richard Photolab

Sur le principe on peut sur-exposer sa pellicule et sous-développer sa photo pour retrouver une image correctement exposée.

### 17.3.2 Loi de réciprocité

Il s'agit d'une loi appliquée en photo argentique relatant la réaction = réponse de la pellicule à l'exposition de la lumière. Lorsque la lumière frappe la pellicule la densité augmente et les zones claires sont celles où la densité est maximales qui deviendront plus sombre sur le négatif une fois la pellicule développée. C'est au moment de réaliser le tirage de la photo sur papier que l'on inverse l'image du négatif pour retrouver les tons originaux. La loi dit qu'un doublement de l'ouverture  $N = F/D$  requière une temps d'exposition 2 fois moindre pour obtenir la même exposition donc  $N^2/tp = \text{constante}$ .

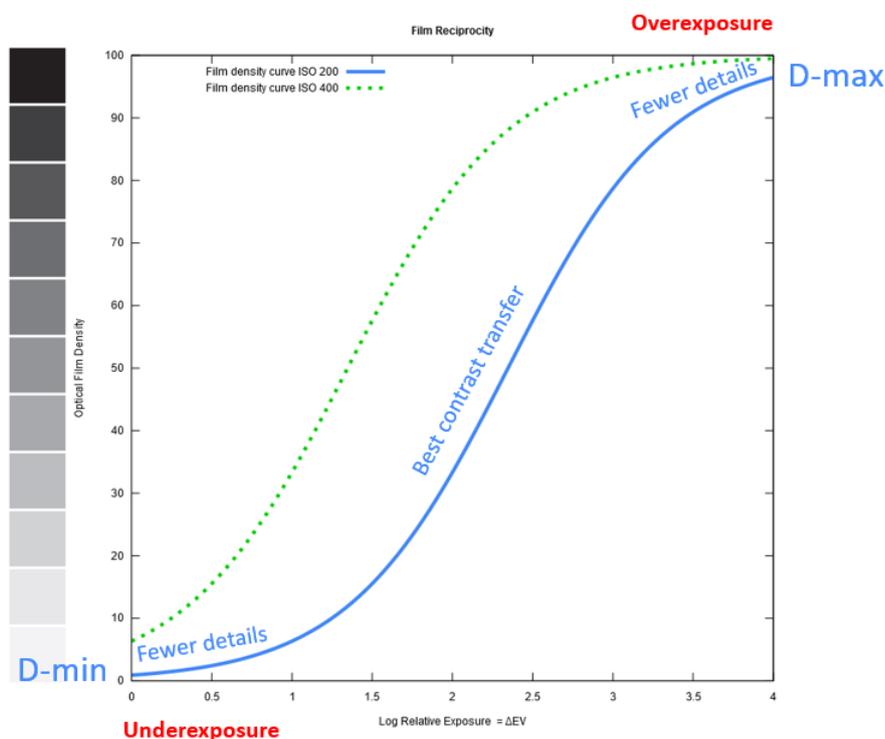
La densité du film oscille dans la plage [D-min, D-max] [144]. Le contraste est maximal dans la partie linéaire de la courbe de réciprocité du film. Cette loi a donc une limite dans les parties extrêmes de la courbe d'exposition car la lumière imprimée sur la pellicule n'est plus exactement linéaire  $y = x$  [36]. Le contraste devient quasi nul aux extrêmes, c'est à dire que 2 tonalités différentes dans la scène sont converti en une unique tonalité sur la pellicule, gris sombre ou noir en bas de la courbe et clair ou blanc en haut de la courbe.

En photo couleur le problème peut toucher différemment les 3 couches de couleur, la photo peut alors connaitre une dérive chromatique importante.

Cependant le trop plein de lumière dans la partie haute de la courbe est plus facile à contrôler en réduisant l'exposition via l'ouverture ou le temps de pose, en revanche le manque de lumière dans la partie basse de la courbe nécessitera un temps de pose plus long.

Pour que la pellicule réagisse correctement il faut qu'au début de l'exposition plusieurs photons arrivent en même temps sur la pellicule pour amorcer la réaction, ce qui est peu probable si il manque de la lumière.

Courbe de réciprocité du film



Credit : J.G. Gricourt

Note : cette courbe est inversée lors du développement la densité des zones sombres de l'image devient supérieure à celle des zones claires de l'image

Kodak avait développé pour les militaires un film très performant permettant de reproduire des contrastes sous très faible luminosité : le Technical Pan 2415. Ce film a été utilisé ensuite par des astro-amateurs pour la photographie du ciel profond.

### 17.3.3 Reciprocity Failure

On parle alors de “Reciprocity Failure” ou de “Effet Schwarzschild” [108, 117, 80] lorsque la loi de réciprocité ne fonctionne plus ce qui est le cas lorsque les temps de pose sont en dehors de la plage préconisée par le fabricant alors la pellicule devient moins sensible car le gain en densité n'est plus linéaire dans cette zone. Il s'agit des parties extrêmes de la courbe de réciprocité du film où la réponse du film n'est plus linéaire. Il faut alors ramener l'exposition dans la partie linéaire de la courbe en changeant l'ouverture N ou le temps de pose tp.

Les fabricants de pellicules préconisent de sur-exposer la pellicule [36] en indiquant les corrections de temps de pose tp (ajout de temps) ou d'ouverture N (diminution d'ouverture) et de temps de développement (allongement du temps) nécessaires à apporter selon le temps de pose mesuré par la cellule. On parle alors de “Reciprocity Failure Compensation”. Cette correction peut s'appliquer lorsque le temps de pose dépasse 1 sec ou est plus court que 1/10 000 sec.

Corrections du film Fomapan

#### Reciprocity Failure Chart for Fomapan 100

Using formula:

$$T_e = t_m [(\log t_m)^2 + 5(\log t_m) + 2]$$

where  $T_e$  is Actual Exposure Time and  $t_m$  is Metered Time

| Meter Time<br>(in seconds) | Actual Exposure Time<br>(in seconds) | Meter Time<br>(in seconds) | Actual Exposure Time<br>(in seconds) | Meter Time<br>(in seconds) | Actual Exposure Time<br>(in seconds) |
|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 1                          | 2                                    | 34                         | 408                                  | 67                         | 969                                  |
| 2                          | 7                                    | 35                         | 424                                  | 68                         | 987                                  |
| 3                          | 14                                   | 36                         | 439                                  | 69                         | 1006                                 |
| 4                          | 21                                   | 37                         | 455                                  | 70                         | 1024                                 |
| 5                          | 30                                   | 38                         | 471                                  | 71                         | 1043                                 |
| 6                          | 39                                   | 39                         | 487                                  | 72                         | 1061                                 |
| 7                          | 49                                   | 40                         | 503                                  | 73                         | 1080                                 |
| 8                          | 59                                   | 41                         | 519                                  | 74                         | 1098                                 |
| 9                          | 69                                   | 42                         | 536                                  | 75                         | 1117                                 |
| 10                         | 80                                   | 43                         | 552                                  | 76                         | 1136                                 |
| 11                         | 91                                   | 44                         | 568                                  | 77                         | 1154                                 |
| 12                         | 103                                  | 45                         | 585                                  | 78                         | 1173                                 |
| 13                         | 115                                  | 46                         | 602                                  | 79                         | 1192                                 |
| 14                         | 127                                  | 47                         | 618                                  | 80                         | 1211                                 |
| 15                         | 139                                  | 48                         | 635                                  | 81                         | 1230                                 |
| 16                         | 152                                  | 49                         | 652                                  | 82                         | 1249                                 |
| 17                         | 164                                  | 50                         | 669                                  | 83                         | 1268                                 |
| 18                         | 177                                  | 51                         | 686                                  | 84                         | 1287                                 |
| 19                         | 191                                  | 52                         | 703                                  | 85                         | 1306                                 |
| 20                         | 204                                  | 53                         | 721                                  | 86                         | 1326                                 |
| 21                         | 218                                  | 54                         | 738                                  | 87                         | 1345                                 |
| 22                         | 231                                  | 55                         | 755                                  | 88                         | 1364                                 |
| 23                         | 245                                  | 56                         | 773                                  | 89                         | 1384                                 |
| 24                         | 259                                  | 57                         | 790                                  | 90                         | 1403                                 |
| 25                         | 274                                  | 58                         | 808                                  | 91                         | 1423                                 |
| 26                         | 288                                  | 59                         | 825                                  | 92                         | 1442                                 |
| 27                         | 303                                  | 60                         | 843                                  | 93                         | 1462                                 |
| 28                         | 317                                  | 61                         | 861                                  | 94                         | 1481                                 |
| 29                         | 332                                  | 62                         | 879                                  | 95                         | 1501                                 |
| 30                         | 347                                  | 63                         | 897                                  | 96                         | 1521                                 |
| 31                         | 362                                  | 64                         | 915                                  | 97                         | 1540                                 |
| 32                         | 377                                  | 65                         | 933                                  | 98                         | 1560                                 |
| 33                         | 393                                  | 66                         | 951                                  | 99                         | 1580                                 |
|                            |                                      |                            |                                      | 100                        | 1600                                 |

Credit : Magna Images

Autres profils de corrections :

- Toutes pellicules [Ilford](#)
- Kodak TRI-X, Kodak T-MAX 100, Kodak T-MAX 400 [Kodak](#)
- Pas besoin de compensation pour la Kodak Portra 160, 400 et 800

#### 17.3.4 Familles de pellicules

La liste ci-dessous donne une liste de pellicules qui existent encore aujourd'hui, on peut aussi les trouver au format 120 pour certaines :

Pellicules NB

| Fabricant    | Pays    | Pellicule            | ISO  | Type    | Format   |
|--------------|---------|----------------------|------|---------|----------|
| Harman       | UK      | Ilford HP5 Plus 400  | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Ilford FP4 Plus 125  | 125  | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Ilford FP4 Plus 400  | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Ilford Delta 100     | 100  | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Ilford Delta 400     | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Ilford Delta 3200    | 3200 | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Ilford Pan F Plus 50 | 50   | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Kentmere Pan 100     | 100  | Négatif | 135, 120 |
| Harman       | UK      | Kentmere Pan 400     | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Foma Bohemia | CZ      | Fomapan Classic 100  | 100  | Négatif | 135, 120 |
| Foma Bohemia | CZ      | Fomapan Creative 200 | 200  | Négatif | 135, 120 |
| Foma Bohemia | CZ      | Fomapan Action 400   | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Kodak        | US      | Kodak Tri-X 400      | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Kodak        | US      | Kodak T-MAX 100      | 100  | Négatif | 135, 120 |
| Kodak        | US      | Kodak T-MAX 400      | 400  | Négatif | 135, 120 |
| Kodak        | US      | Kodak T-MAX 3200     | 3200 | Négatif | 135, 120 |
| Agfa-Gevaert | Belgium | Agfa APX 100         | 100  | Négatif | 135, 120 |
| Agfa-Gevaert | Belgium | Agfa APX 400         | 400  | Négatif | 135, 120 |

Credit : J.G. Gricourt

## Pellicules Couleur

| Fabricant | Pays | Pellicule                | ISO | Type    | Format   | Tone | Style                            |
|-----------|------|--------------------------|-----|---------|----------|------|----------------------------------|
| Harman    | UK   | Harman Phoenix 200       | 200 | Négatif | 135      | Warm | Impressionistic                  |
| Kodak     | US   | Kodak Portra 160         | 160 | Négatif | 135, 120 | Cool | Pastel, Skin Tones, Fashion      |
| Kodak     | US   | Kodak Portra 400         | 400 | Négatif | 135, 120 | Cool | Finest grain, Pastel, Skin Tones |
| Kodak     | US   | Kodak Portra 800         | 400 | Négatif | 135, 120 | Cool | Pastel, Skin Tones               |
| Kodak     | US   | Kodak Ektar 100          | 100 | Négatif | 135      | Warm | Finest grain, Landscape          |
| Kodak     | US   | Kodak UltraMax 400       | 400 | Négatif | 135      | Warm |                                  |
| Kodak     | US   | Kodak Color Plus 200 (*) | 200 | Négatif | 135      | Warm |                                  |
| Kodak     | US   | Kodak Gold 200           | 200 | Négatif | 135, 120 | Warm |                                  |
| Kodak     | US   | Kodak Extachrome E100    | 100 | Diapo   | 135, 120 | Cool | Finest grain                     |
| Kodak     | US   | Kodachrome 200 (*)       | 200 | Diapo   | 135      | Warm |                                  |
| Fujifilm  | JP   | Fujifilm C200 (*)        | 200 | Négatif | 135      | Cool |                                  |
| Fujifilm  | JP   | Fujifilm Superia 400 (*) | 400 | Négatif | 135      | Warm | Accurate                         |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : (\*) pellicules historique dont la production a cessé plus récemment. La Kodak Portra 400 supporte jus'à 3 stops de sur-exposition, ce qui permet de prendre des photos à grandes ouvertures en plein soleil avec un appareil photo limité à une vitesse de 1/1000e*

Un film noir et blanc est dit panchromatique lorsque celui ic est sensible dans toutes les couleurs du spectre visible, c'est le cas des Fomapan.

### 17.3.5 Zone System

Il s'agit de la méthode d'exposition des films argentiques noir et blanc employés par Ansel Adam photographe américain du 19e siècle. Ansel Adams l'auteur de cette méthode à dit : "Expose for the shadows; develop for the highlights." ce que permet cette méthode parfaitement adaptée au film argentique. En photo numérique on réalise exactement l'inverse où l'on expose d'abord pour les hautes lumières (éviter la saturation du capteur) afin de se donner la latitude de développer les ombres (voir la méthode ETTR).

Le Zone System divise la photo en 9 zones de tonalités de gris différentes excluant le noir parfait et le blanc parfait qui n'existe pas dans la nature. Le passage d'une zone à l'autre vers la droite correspond à 2 x plus de lumière. Cette méthode permet d'exposer la pellicule pour que les zone les plus sombres n'apparaissent pas purement noire sur le négatif et que éventuellement les zones les plus claires n'apparaissent pas purement blanche sur le négatif. C'est au développement qu'il faut manipuler l'image localement par zone afin de retrouver ces zones lues initialement dans la scène.

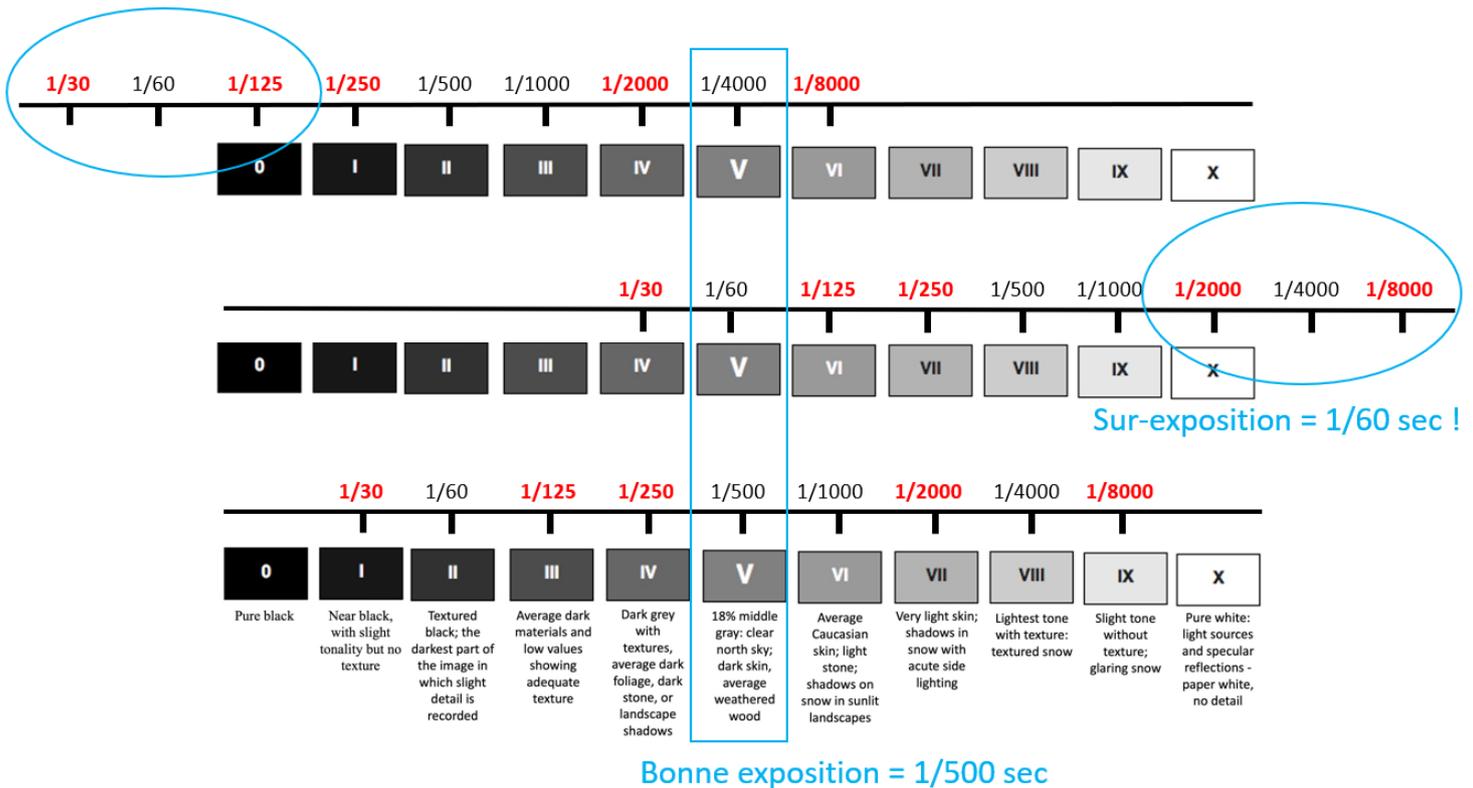
Etapes : par exemple régler l'appareil photo en mode priorité ouverture (mode AV), fixer l'ouverture N [57]

1. Mesurer chaque zones (le nombre que l'on veut) de l'image et noter la vitesse nécessaire pour obtenir un gris moyen
2. Caler cette échelle de vitesse sur l'échelle des 9 niveaux du Zone System pour avoir une bonne représentation des tons de l'image sur le négatif (ou le capteur)

Le chiffre en rouge correspondent aux vitesse mesurées pour chaque zones repérées dans l'image.

## Le Zone System

Sous-exposition = 1/4000 sec !



Credit : J.G. Gricourt

En imagerie numérique exposer pour les ombres = “Expose to the Left” ferait prendre un grand risque de brûler les hautes lumières qui seraient alors définitivement perdues. De manière générale avec des pellicules la sous-exposition n’est pas rattrapable à cause du bruit et du manque de contraste alors que la sur-exposition est rattrapable au développement donc tout l’inverse de la photographie numérique. A l’époque de l’argentique on cherchait des objectifs lumineux ouvrant à 2.8, 1.8 ou 1.4 pour justement éviter de sous-exposer dans certaines situations qui ne pouvaient pas être évité en changeant d’ISO (impossible de changer la pellicule à ce moment là) [55].

Nando Harmsen à dit : “Instead of expose for the shadows, and develop for the highlights, we need (in the numerical world) to expose for the highlights and develop for the shadows.”

| The Zone System |   |       |
|-----------------|---|-------|
| Black           |   | White |
| Zone 0          | Complete lack of density in the negative image. Total black in print  |       |
| Zone I          | First step above black, slight tonality, but no texture   |       |
| Zone II         | First suggestion of texture. Deep tonalities, representing the darkest part of the image in which some detail is required |       |
| Zone III        | Average dark materials. Low values showing adequate texture   |       |
| Zone IV         | Average dark foliage. Dark stone. Landscape shadow  |       |
| Zone V          | Dark skin, gray stone, weathered wood. Middle gray  |       |
| Zone VI         | Average caucasian skin value in sunlight. Shadows on snow in sunlit snowscapes. Light stone, clear north sky              |       |
| Zone VII        | Very light skin, light gray objects   |       |
| Zone VIII       | White with textures and delicate values   |       |
| Zone IX         | Glaring white surfaces. Snow in flat sunlight<br>White without texture  |       |
| Zone X          | Light sources, actual or reflected. Printed at maximum white value  |       |

Credit : [Fstoppers](#)

Le passage d'une zone plus sombre à la zone suivante plus claire correspond à +1 EV. La zone V correspond à une luminance de du gris moyen.

### 17.3.6 Les rayons X

L'effet des rayons X sur les pellicules est cumulatif et dépend donc du nombre de passages dans la machine mais aussi de la sensibilité de la pellicule. Jusqu'à 400 ISO il n'y aura pas d'effet visible avec un scanner de bagage à main classique même après beaucoup de passages, par contre à 1600 ISO la pellicule risque de se voiler après quelques passages seulement.

Effets des rayons X sur le film :

- Baisse de contraste
- Virage de couleurs
- Augmentation de la granularité
- Motifs de rayures

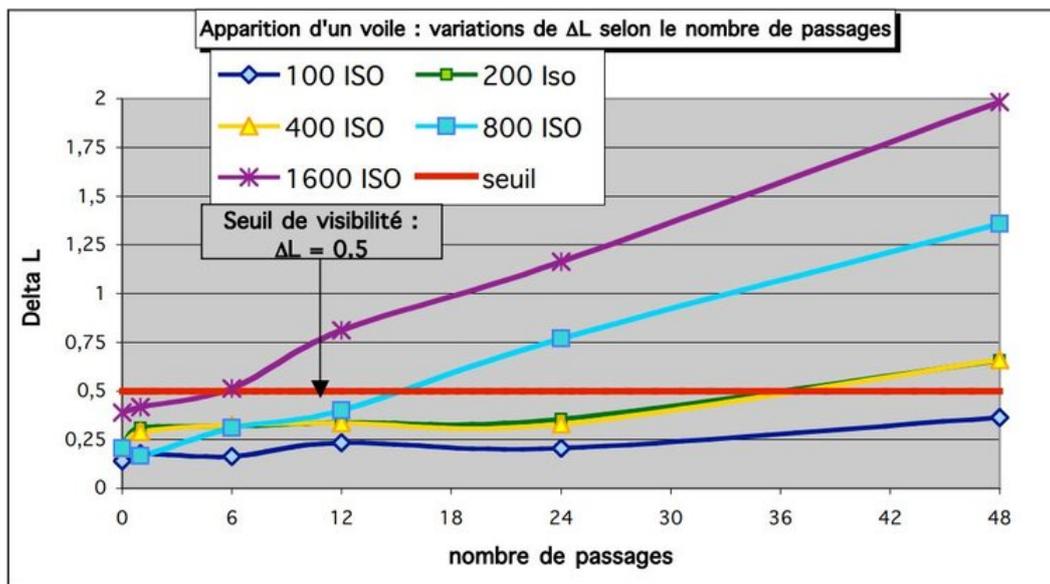
Les scanners de bagage de soute sont plus puissants que ceux utilisés pour les bagages à main classique, il faut donc éviter de laisser ses pellicules dans les valises qui partent en soute. Normalement les scanners de bagage à main ne détériorent pas les films cependant on trouve de plus en plus d'aéroports des scanners de type "CT scanner" plus puissants capables de représenter le contenu des bagages en 3D. Kodak a montré en 2020 qu'un seul passage d'une pellicule Portra 400 suffit à modifier le comportement de la pellicule.

Il faut savoir que le vol lui même soumet les pellicules à une dose de radiation : “L’exposition caractéristique reçue au cours d’un vol Paris – New York équivaldrait à environ 10 passages dans un appareil à rayons X utilisé pour le contrôle des bagages de cabine” – Service Technique de l’Aviation Civile [Q](#)

La réglementation de la FAA américaine autorise cette inspection manuelle, mais d’autres pays peuvent ne pas l’autoriser.

Exemple de comportement aux rayons de X sur un appareil datant de 2010 :

Fujifilm Fujicolor 400H



Credit : Effet des rayons x émis par les appareils de contrôle des bagages sur les supports photographiques

Comportements à adopter pour éviter de détériorer ses pellicules :

- Garder les pellicules dans une pochette afin de les soumettre à une inspection manuelle si cela est possible (du moins aux USA)
- Utiliser une pochette spécialisée de protection contre les rayons X si jamais l’inspection manuelle est refusée

### 17.3.7 Conditions de stockage des films argentiques

Les film argentique doivent être à l’abri de la lumière, de la chaleur et de l’humidité = “Keep it Cool Dark and Dry”. Il est recommander de le stocker dans une atmosphère à moins de 60% d’humidité et dans un réfrigérateur à 13° pour une durée de 6 mois ou un congélateur à -18° pour une durée supérieure selon Kodak [91]. Cependant les rayons gammas agissent sur les pellicules même à l’intérieur d’un réfrigérateur et augmente la valeur D-min de la courbe de réciprocity et augmente le grain des photos avec le temps. Il est toutefois plus facile de conserver une pellicule de 200 ISO intact qu’une pellicule de 800 ISO 4 fois plus sensible.

Les dégradations constatées sont :

- La formation d’un voile sur l’image et une perte de contraste
- L’apparition de grain
- La dérive colorimétrique dû à la dégration de l’émulsion chimique

## 17.4 Le développement du film

Le but du développement est de finir de transformer les cristaux d'halogénure sensibilisés (activés) en cristaux d'argent grâce au révélateur ou développeur puis de nettoyer le film des cristaux d'halogénure non sensibilisés grâce au fixateur [10]. Alors le film devient un négatif stabilisé prêt pour réaliser des tirages.

Etapes du développement du film Noir et Blanc [72] :

1. Prendre la photo = exposition de la pellicule = réaction des cristaux d'halogénure à la lumière pour former une image latente
2. Dans le noir, retirer le film de la pellicule à l'aide d'un ouvreur de cartouche
3. Dans le noir, déposer le film dans un bain de révélateur = "Developer" afin de transformer les cristaux d'halogénure sensibilisés (activés) en cristaux d'argent
4. Dans le noir, déposer le film dans un bain d'arrêt du acide acétique + eau pour stopper l'action du révélateur
5. Dans le noir, déposer le film dans un bain de de fixateur = "Fixer Agent" du thiosulfate pour stabiliser le négatif en dissolvant les cristaux halogénures non sensibilisés restants afin de rendre le négatif insensible à la lumière par la suite
6. Laver le négatif à l'eau froide
7. Tremper le négatif dans un agent mouillant afin que l'eau adhère moins au négatif en vue du séchage
8. Laisser sécher le négatif étendu à l'air libre
9. Eliminer toutes trace à la surface du négatif avec un produit nettoyant

*Note : on dit que le développement doit se dérouler en chambre noire ...*

En moyenne le temps de développement est situé entre 9 et 12 min. Si le temps de passage dans le révélateur est long le négatif sera sombre, on parle de sur-développement, à l'inverse si le temps de passage dans le révélateur est court le négatif sera clair, on parle de sous-développement [26].

Les techniques de développement sortant du cadre [142, 37] :

**Retenir une pellicule** surtout en couleur cela consiste à régler les ISO sur le boitier jusqu'à 3 stops de moins par rapport à l'ISO natif de la pellicule. La pellicule sera alors sur-exposée, il faudra le mentionner au labo afin de la rendre plus sombre ensuite au développement. Le cas d'usage est le portrait ou l'utilisation d'une pellicule 400 ISO au moment où le ciel passe de nuageux à grand soleil et que l'on ne veut pas fermer le diaphragme pour garder le même bokeh ou que la vitesse est déjà au maximum de l'appareil (ex : 1/1000 sec). La conséquence est que les ombres de l'image seront moins bien définis et le contraste plus faible (images plus douces).

**Pousser une pellicule** surtout en noir et blanc, cela consiste à régler les ISO sur le boitier jusqu'à 3 stops supplémentaires par rapport à l'ISO natif de la pellicule. La pellicule sera alors sous-exposée, il faudra le mentionner au labo afin de la rendre plus claire ensuite au développement. Le cas d'usage est le paysage ou l'architecture ou l'utilisation d'une pellicule 100 ISO au moment où le ciel passe de grand soleil à nuageux et que l'on ne veut pas ouvrir le diaphragme pour garder la même profondeur de champ ou que la vitesse doit rester élevée faute d'avoir un trépied. La conséquence est que le grain sera plus apparent et le contraste plus élevé.

Selon le principe de Ansel Adams "Expose for the shadows ; develop for the highlights." donc il faudrait sur-exposer de +1 EV par rapport à la règle "Sunny 16" et sous-développer = limiter le temps de passage du film dans le bain du révélateur de 20% afin d'éviter d'éviter de créer des zones parfaitement blanches sur le négatif [73].

## 17.5 Le tirage

### 17.5.1 Scanner

Les films 35mm peuvent contenir jusqu'à 12 Mpix de résolution et les films 120 peuvent contenir jusqu'à 24 Mpix, il faut donc utiliser des scanners adaptés pour capturer cette résolution :

Scanners dédiés au film 35mm :

1. **Reflecta RPS 10M** - R = 10 000 dpi (4 300 dpi effectif), S = 4724 x 7087 pixels, Dmax = 4.2
2. **Plustek OpticFilm 8300i AI / 8100 AI** - R = 7 200 dpi (3 250 dpi effectif), Dmax = 3.91
3. Konica Minolta DiMAGE Scan Elite 5400 II - R = 5 400 dpi
4. Nikon Coolscan 9000 - R = 4 000 dpi, Dmax = 4.4 (logiciel ancien ne fonctionne pas sous Windows 11)
5. Fuji Frontier SP500, SP3000 - R = 300dpi, S = 3600 x 5400 pixels (utilisés dans les 90s)
6. Noritsu HS-1800 - R = , S = 4492 x 6774 pixels

Scanners utilisables pour film moyen format :

1. Epson Perfection V600 - R = 6 400 dpi (1 560 dpi effectif), Dmax = 3.4
2. Epson Expression 12000 XL - R = 2 400 dpi (2 170 dpi effectif), Dmax = 3.8

**La densité optique Dmax du scanner** est la capacité du scanner à restituer une large plage de tons = "Dynamique Range", afin que les zones d'ombres ne soient pas trop denses après numérisation et que les zones lumineuses ne soient pas trop brûlées après numérisation.

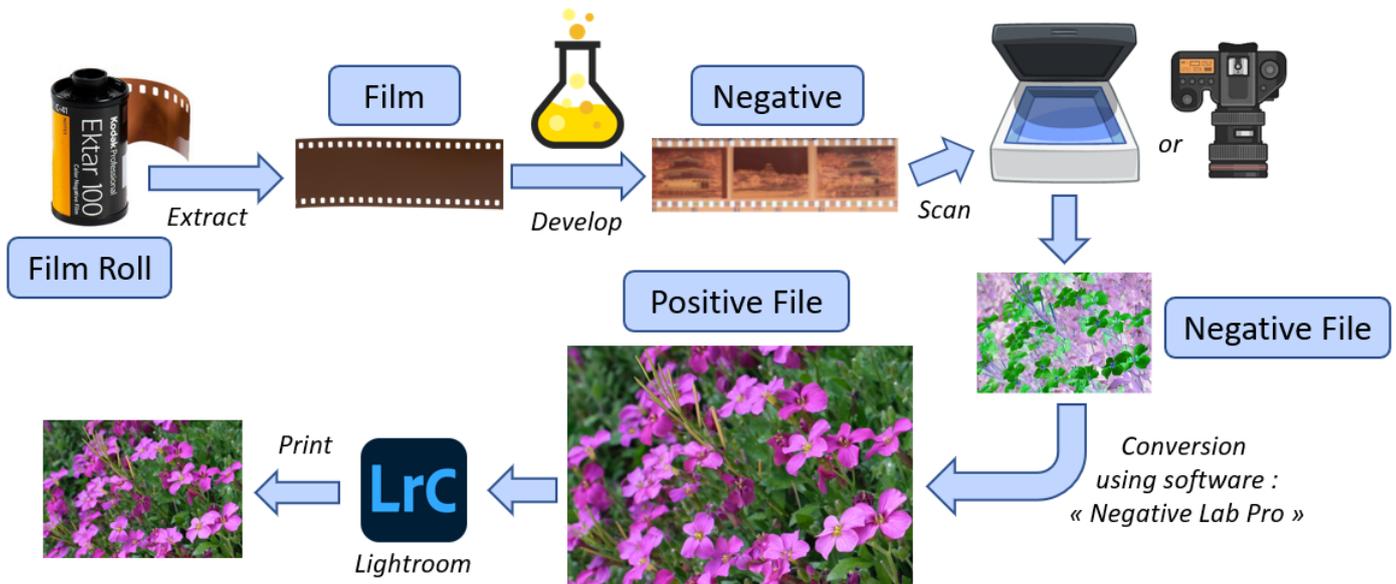
Valeur théorique :  $D_{max} = B/10$ , donc si la résolution en bits du scanner est  $B = 48$  bits alors  $B = 4.8$

Le tirage 10x15 standard ou grand format à partir de négatifs produit par le développement peut se faire soit :

- Utilisation d'un scanner de type DRUM qui va jusqu'à une résolution de 8000 dpi, ex : Aztek
- Utilisation d'un scanner de négatif qui va jusqu'à une résolution de 4300 dpi, ex : Reflecta RPS 10M
- Utilisation d'un scanner de type FLATBED qui va jusqu'à une résolution de 2400 dpi, ex : Epson Perfection V800
- Utilisation d'un APN + objectif macro haute résolution qui va jusqu'à une résolution équivalente de 5000 dpi (pour 33 Mpixels)
- Utilisation de minilabs pour le scan (et l'impression), ex : Fuji Frontier SP500
- Utilisation d'un agrandisseur, ex : Durst M601 NB, Durst M605 Couleur, Kaiser

Le scanner de type DRUM donnera la meilleure qualité de scan du négatif en révélant toute la plage dynamique de l'image. L'agrandisseur réalise une projection de l'image du négatif sur un papier photo sensible. Une fois la photo numérisée par le scanner ou l'APN il faut l'imprimer avec une imprimante photo de qualité, ex : Canon Pixma, Canon ImagePROGRAF. Pour garantir que le négatif est parfaitement à plat les professionnels le plonge dans un fluide avant de le passer au scanner.

## Traitement d'un négatif



Credit : J.G. Gricourt

*Note : Film Roll = Pellicule, Negative = Négatif, Print = Imprimer = Réaliser des tirages à partir du négatif*

Pré-requis de la numérisation du négatif avec l'APN :

- Réaliser les scans dans un environnement sans poussières, utiliser un blower pour retirer les poussières sur le négatif avant de prendre les clichés
- Passer le négatif dans un chiffon anti-statique pour retirer la poussière et limiter le dépôt de poussières pendant les scans
- Il faut utiliser un objectif de photo de type macro pour obtenir un rapport de 1 :1
- L'APN doit être orienté parfaitement perpendiculairement par rapport à la table lumineuse où est posé le négatif qui lui-même doit être parfaitement à plat (ne doit pas gondoler)
- Il faut supprimer toute source de lumière parasites externes en scannant dans le noir
- Il faut choisir une table lumineuse reproduisant la lumière du soleil de manière très homogène sur sa surface
- Il faut réaliser la photo en mode RAW pour plus de contrôle en post-traitement

Réglage de l'APN

- Régler la balance des blancs à la température de la table lumineuse
- Régler les ISO à l'un des 2 ISOs optimaux de l'APN, ce sont des ISOs pour lesquels le bruit sera minimal
- Régler l'ouverture à l'ouverture optimale de l'APN, il s'agit de l'ouverture, F/5.6 en général, pour laquelle la résolution de l'objectif est maximale
- Régler l'exposition pour que la lumière de la table lumineuse (niveau max) soit exactement tout à droite de la courbe d'exposition
- Désactiver la stabilisation auto du capteur
- Déclencher en remote (smartphone) pour éviter toutes vibrations au moment du déclenchement ou bien passer en mode electronic shutter

Le post-traitement consiste à dématricer l'image (matrice de Bayer) puis à l'inversée afin d'obtenir les bonnes couleurs (ou

tonalités en NB)

Un film photo inversible comme le Kodak Ektachrome E100 est une pellicule qui produit directement des positifs une fois développé et qui sont utilisés dans les diapositives destinées à être projetée sur un écran.

La photo extraite d'un scanner nécessite une conversion du négatif en positif par le biais d'un logiciel de traitement d'image approprié comme [Négative Lab Pro](#) utilisé sous forme d'un plugin de Photoshop ou le logiciel autonome fourni avec le scanner comme [SilverFast Pro](#).

Résolution maximale nécessaires pour scanner les négatifs [46]

| Film                      | Taille     | Résolution |
|---------------------------|------------|------------|
| 35mm = full frame format  | 24 x 36 mm | 12 Mpixels |
| 120mm = 6x6 medium format | 56 x 56 mm | 24 Mpixels |

### 17.5.2 Tirage papier

Le tirage papier consiste à produire une impression de la photo à partir du négatif. On peut passer par l'étape du scan du négatif ou bien utiliser un agrandisseur.

Etapes de l'utilisation de l'agrandisseur [123] :

1. Placer l'image du négatif dans l'agrandisseur pour projeter de l'image vers le bas sur un plan
2. Dans le noir, allumer la lumière inactinique pour un film en noir et blanc
3. Régler la hauteur de l'agrandisseur afin de choisir l'agrandissement voulu et faire la mise au point afin que l'image projetée soit nette
4. Placer une feuille de papier photo sensible sur la plan de projection
5. Exposer le papier photo

La planche contact est un tirage de toutes les photos de la pellicule sur le même papier sans agrandissement.

L'impression à partir d'une image scannée = numérisée est la même technique qu'avec des photos numérique, voir le chapitre dédié à l'impression des clichés numériques.

## 17.6 Autofocus

L'auto-focus est arrivé tard dans la période des argentiques et a changé la manière dont l'appareil photo est utilisé :

Sans AF :

- Mise au point grossière pour apprécier la scène
- Composition de la photo
- Choix de l'ouverture (ou de la vitesse)
- Mise au point précise sur une partie de la scène
- Recomposition si le focus n'est pas au centre de la photo
- Déclenchement

Avec l'AF :

- Mise au point précise au centre
- Composition de la photo
- Perte de focus, nouvelle mise au point précise au centre
- Choix de l'ouverture (ou de la vitesse)
- Vérification du focus, nouvelle mise au point sur une partie de la scène
- Recomposition si le focus n'est pas au centre de la photo
- Déclenchement

Avec l'AF machinalement la réalisation de la mise au point est la première action du photographe.

## 17.7 Appareil photo argentique

### 17.7.1 Twin Lens Reflex

Appelé aussi "TLR" par opposition aux appareils de type "SLR", désigne un type d'appareil photo argentique au format 120 (moyen format) disposant de 2 objectifs, celui du haut est utilisé pour la visée et celui du bas pour la prise de vue, il n'y a donc pas de miroir basculant comme sur les appareils de type reflex. Lors de la prise de vue il faudra tenir compte de l'effet de parallaxe et ce d'autant plus que le sujet sera proche. Un cadre permet de replacer l'image de visée afin que le cadrage choisi initialement soit bien respecté au déclenchement. Un appareil emblématique de ce type est le Rolleiflex 3.5c Planar 6x6 (12 poses par bobine) ou le Yashica Mat 124G 6x6 [27].

### 17.7.2 Télémétrique

Désigne un type d'appareil photo argentique compact le plus souvent au format 135 disposant d'une visée indépendante de l'objectif. Les appareils emblématiques de ce type sont les Leica M.

### 17.7.3 Appareil photo "vintage" 35mm

Liste d'appareil argentique ancien emblématiques [98, 96] :

| Nom                | Années      | Mesure | Tp Max | Stig. | Pile          | Monture                | URL   |
|--------------------|-------------|--------|--------|-------|---------------|------------------------|---|
| Nikon F6           | 2005 à 2010 | Si     | 1/8000 | AF    | -             | F, Ai, Ai-S            |   |
| Canon EOS 1V       | 2000 à 2005 | Si     | 1/8000 | AF    | -             | EF                     |   |
| Nikon F4           | 1988 à 2001 | Si     | 1/8000 | oui   | -             | F, Ai, Ai-S            | <a href="#">Q</a>   |
| Nikon FG-20        | 1984 à 1987 | Si     | 1/1000 | oui   | LR44, S76     | pre-Ai, Ai, Ai-S, AF-D |   |
| Olympus OM-4       | 1983 à 1987 | Si     | 1/2000 | oui   | SR44          | OM                     | -   |
| Nikon FE2          | 1983 à 1989 | Si     | 1/4000 | oui   | S76, LR44     | Ai, Ai-S, AF-D         | <a href="#">Q</a>   |
| Nikon FM2          | 1982 à 2001 | Si     | 1/4000 | oui   | LR44          | Ai, Ai-S, AF-D         | <a href="#">Q</a>   |
| Minolta X700       | 1981 à 1992 | Si     | 1/1000 | oui   | LR44          | MD                     | -   |
| Nikon F3           | 1980 à 2001 | Si     | 1/2000 | oui   | 2xLR44        | F, Ai, Ai-S            | <a href="#">Q</a> , <a href="#">Q</a> , <a href="#">Q</a> |
| Praktika TL-1000   | 1979 à 1986 | CdS    | 1/1000 | oui   | PX625 (1.5V)  | Praktica 42            | <a href="#">Q</a>   |
| Olympus OM-2n      | 1979 à 1984 | CdS    | 1/1000 | oui   | LR44, SR44    | OM                     | -   |
| Canon AV-1         | 1979 à 1983 | CsD    | 1/1000 | oui   | LR44, SR44    | FD                     | -   |
| Nikon FE           | 1978 à 1983 | Si     | 1/1000 | oui   | LR44, S76     | pre-Ai, Ai, Ai-S, AF-D | <a href="#">Q</a>   |
| Minolta XD7        | 1977 à 1984 | Si     | 1/1000 | oui   | LR44          | MD                     | <a href="#">Q</a> , <a href="#">Q</a>                     |
| Nikon EL2          | 1977 à 1978 | Si     | 1/1000 | oui   | A544          | F, Non Ai              | -   |
| Pentax K1000 Asahi | 1976 à 1992 | CdS    | 1/1000 | oui   | LR44, SR44    | K                      | <a href="#">Q</a>   |
| Canon AE-1         | 1976 à 1984 | CdS    | 1/1000 | oui   | V28PXL        | FD                     | -   |
| Pentax MX          | 1976 à 1983 | CdS    | 1/1000 | oui   | LR44          | K                      | -   |
| Pentax ME          | 1976 à 1981 | CdS    | 1/2000 | oui   | LR44          | K                      | -   |
| Pentax K2          | 1975 à 1980 | CdS    | 1/1000 | oui   | LR44          | K                      | -   |
| Pentax Spotmatic F | 1973 à 1981 | CdS    | 1/1000 | oui   | PX625 Mercure | M42 (à visser)         | -   |
| Olympus OM-1       | 1972 à 1987 | CdS    | 1/1000 | oui   | PX625 Mercure | OM                     | <a href="#">Q</a>   |
| Canon FTb          | 1971 à 1978 | CdS    | 1/1000 | oui   | PX625 Mercure | FD                     | -   |
| Olympus OM-10      | 1970 à 1983 | CdS    | 1/1000 | oui   | LR44, CR3N    | OM                     | <a href="#">Q</a>   |
| Olympus 35 SP      | 1969 à 1973 | CdS    | 1/500  | oui   | -             | Zuiko                  | -   |
| Minolta SRT 101    | 1966 à 1975 | CdS    | 1/1000 | oui   | PX625 Mercure | SR                     | -   |
| Olympus Pen FT     | 1966 à 1971 | CdS    | 1/500  | oui   | PX625 Mercure | Zuiko                  | -   |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : CdS = Sulfure de Cadmium (photo résistance) ce sont des cellule plus anciennes, moins précises après plusieurs années, Si = Photodiodes Sillicum (semi-conducteur), Stig. = Stigmomètre, Nikon FE = Electronic Shutter, Nikon FM = Mechanical Shutter (no battery needed), le Pen. FT multiplie par 2 le nombre de photos sur 35mm*

Les montures : [Les montures réflexes, leurs registres et les adaptations possibles - Benoît Suaudeau](#)

Autres notes :

- Le Canon EOS 1v et le Nikon F6 restent les argentiques les plus modernes existant à date en 2024 ...
- Le Canon AE-1 et AV-1 sont des semi-auto à priorité vitesse
- Le Nikon FE peut utiliser des objectifs non-Ai alors que le Nikon FE2 ne peut pas et ce grâce à son ergot de transmission de l'ouverture rétractable
- Le Nikon F100 est un appareil pro et moderne mais sujet à une détérioration du revêtement (surtout le dos) qui devient collant avec le temps = "Sticky Back", mais il peut être nettoyé avec une solution alcoolique.
- Le Nikon F4 est un appareil pro très durand (plus que le FE2 ou FM2) il est exempt de vibrations de l'obturateur et possédant le premier moteur auto-focus de la marque [Q](#)

- Le Nikon F4 est sujet au LCD bleeding = détérioration des LCD visible depuis le viewfinder suite à un choc ou à l'exposition d'une température trop élevée
- Le Nikon F3 est un appareil pro très endurant (plus que le FE2 ou FM2) il est exempt de vibrations de l'obturateur intégré [Q](#)
- Le Nikon FE2 possède un obturateur électronique capable d'aller jusqu'à 1/4000e
- Le Nikon FM2 est entièrement mécanique et peut fonctionner sans pile
- Le Nikon FM2 possède une cellule à LED et non à aiguille comme sur le FE2
- Le Nikon FM2 (et FM2n) certains possèdent un shutter en titane (texturé nid d'abeille = "Honeycomb") qui manque de fiabilité [Q](#)
- Le Nikon FM2 est connu pour être sujet aux vibrations de l'obturateur en dessous de 1/250e [Q](#)
- Le Nikon Nikkormat EL possède un levier d'armement qui dépasse du boîtier qui peut être gênant lorsqu'on approche l'oeil du viseur
- Le Nikon EL2 utilise une pile placée à l'intérieur sous le miroir
- Le Pentax ME ne possède pas de mode manuel sinon priorité ouverture
- Le Pentax K-1000 et Spotmatic ne possède pas de mire de mise au point de type "Split Prism" mais plutôt à base de "Microprism" plus difficile à utiliser selon sa vue
- Le Pentax Spotmatic SPII nécessite de baisser le lever pour prendre la mesure de lumière (la mesure du F s'utilise à pleine ouverture)
- Le Pentax Spotmatic F possède une cellule de mesure de lumière toujours allumée si le bouchon de l'objectif est retiré
- Le Pentax Spotmatic SPII possède une cellule de mesure de lumière plus sensible en basse lumière que le F
- Le Pentax Spotmatic F supporte des piles 1.5V V625U car utilise un circuit en pont (bridge)
- Le Pentax Spotmatic F possède un viseur très étriqué
- Le Pentax Spotmatic F et le Pentax SP 1000 sont identiques
- L'OM-10 nécessite un adaptateur pour passer en manuel sinon priorité ouverture
- L'OM-1 est connu pour son prisme détérioré en raison de mousse désintégré avec le temps
- Le Praktika TL-1000 était produit en RDA
- L'Olympus 35 SP est de type télémétrique = "Range Finder", utilisé par les plus grands photographes de rue (proche d'un Leica)
- Dans les années 70s le mode "Shutter Priority" a été développé par Canon et Konica et le mode "Aperture Priority" a été développé par Nikon, Minolta, Pentax et Olympus

Piles au mercure : ce type de pile de 1.35V a été interdite à l'importation depuis 1991, on peut les remplacer par des piles PX625 de 1.5V cependant certains boîtiers auront une mesure de l'exposition faussée et produiront une sur-exposition des photos [Q](#). Solution alternatives : utiliser une pile Zin/Air de 1.35V, utiliser un adaptateur pour SR44 ou PX64 baissant la tension à 1.35V grâce à une diode Zener [Q](#).

Attention la cellule d'exposition de certains boîtiers sont soit devenu imprécis avec le temps (dérive) soit ne fonctionnent plus du tout il faut alors soit mesurer l'exposition avec la méthode "Sunny 16" ou alors utiliser une cellule extérieure comme un light meter [Keks](#).

Liste d'objectifs standard d'excellente qualité :

| Marque  | Nom  |
|---------|--|
| Nikon   | <a href="#">Nikkor 50mm F/1.4 Ai-S</a> = “The Nifty Fifty” désigne n’importe quel 50mm |
| Nikon   | Nikkor 50mm F/1.8 Ai-S “Pancake” serial number +2 000 000 (distributed in Japan).      |
| Nikon   | Nikkor 28mm F/2.8 Ai-S permet des plans rapprochés (macro)                             |
| Nikon   | Nikkor 28mm F/2 Ai   |
| Olympus | Zuiko OM Auto-S 50mm F/1.8   |
| Pentax  | Super Takumar 50mm F/1.4   |
| Pentax  | SMC Takumar 50mm F/1.4   |
| Pentax  | SMC Pentax-M 50mm F/1.4  |
| Minolta | Minolta MD Rokkor 50mm F/1.7   |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : cette liste est se base sur des avis subjectifs et n’est absolument pas exhaustive*

Liste des numéros de série des objectifs :

- [Nikon lenses](#)
- [Nikon Cameras](#)
- [Takumarology](#)
- [Age of a Canon lense](#)

**Les objectifs Pentax M42** Le Pentax Super Takumar 50mm F/1.4 original possède 8 éléments, 7 lames, n’est pas multi-coated, et montre un bokeh très “creamy” mais montre aussi beaucoup de flares et d’aberrations chromatiques sur des scènes lumineuses, il est à réserver à la photo argentique noire et blanc.

Le Pentax SMC Takumar 50mm F/1.4 possède 7 éléments, 8 lames, multi-coated et montre un contraste supérieur une fois fermé tout en gardant un bon bokeh à pleine ouverture.

La lentille arrière des objectifs Super Takumar en version 7 éléments (1.4 et 1.8) contiennent du Thorium 232 radioactif dans la masse du verre très efficace pour améliorer le contraste comme le ferait un traitement de surface multi-couche classique.

Le Thorium a tendance à teinter le verre en marron ce qui a pour conséquence d’ajouter cette même une teinte aux photos et à faire perdre à l’objectif jusqu’à 2 stop de lumière. Cependant une exposition prolongée à la lumière UV fait disparaître la teinte pour rendre l’objectif incolore.

Les objectifs Pentax “Super” donc non “SMC” sont prévus pour fonctionner en mode “Stop down aperture metering” alors que les objectifs Pentax “SMC” sont prévus pour fonctionner en mode “Open aperture metering”.

Les objectifs en monture M42 dont le Takumar peuvent se monter sur tous les systèmes DSLR avec un adaptateur approprié : Fuji, Sony, Canon ou Nikon. Sur Nikon F il ne sera pas possible d’obtenir le focus à l’infinie avec des objectifs en M42 car sur les boîtiers Nikon la distance entre la lentille arrière de l’objectif et la pellicule / capteur est plus longue que pour les autres boîtiers. Il existe des adaptateurs très fins pur rapprocher au maximum l’objectif du capteur ou encore des adaptateurs avec lentille de correction afin de permettre la mise au point à l’infini sur Nikon F mais cette correction optique supplémentaire nuit à la qualité de l’objectif au final.

De manière générale l’utilisation d’objectif M42 sur d’autres systèmes ne permet pas d’enclencher le pin contrôlant le diaphragme au moment de la prise de vue afin de le fermer à l’ouverture choisie (il restera tout le temps ouvert).

Etapes à suivre pour l'utilisation d'un Takumar sur un autre système :

1. Il faut ouvrir le diaph manuellement avec la bague d'ouverture à l'ouverture maximale afin que le viseur soit clair
2. Cadrer et faire la mise au moins
3. Refermer le diaph à l'ouverture de déclenchement choisie
4. Déclencher la prise de vue

*Note : l'étape 1 ne peut être réalisée que si le pin arrière est enfoncé afin de basculer en mode ouverture manuelle donc attention à l'adaptateur utilisé*

#### 17.7.4 La marque Nikon

Les Nikon font parti des boîtiers argentique les plus prisés encore aujourd'hui en raison de la qualité de fabrication et du parc des objectifs sur le marché de l'occasion.

Timeline des boîtiers Nikon les plus intéressants sur le marché de l'occasion :

| Année | Nom             | Commentaire  |
|-------|-----------------|--|
| 2004  | Nikon F6        | Le plus moderne et le meilleur argentique chez Nikon   |
| 2000  | Nikon F80 / F90 | Le dos devient collant avec le temps   |
| 1999  | Nikon F100      | La fermeture du dos en plastique est fragile   |
| 1996  | Nikon F5        |  |
| 1990  | Nikon F601      |  |
| 1988  | Nikon F801      |  |
| 1980  | Nikon F3        | Le modèle emblématique des reporters, ce modèle est très recherché pour sa robustesse          |
| 1978  | Nikon FE        | La version FE2 est plus recherchée que la version FE car la vitesse passe de 1/1000e à 1/4000e |
| 1977  | Nikon FM        | Entièrement mécanique, l'affichage de la cellule se fait par une diode et non une aiguille     |
| 1972  | Nikon EL        |  |

Credit : J.G. Gricourt

Les objectifs premiums fabriqués par Nikon portent tous la dénomination "Nikkor" seule la série E porte la dénomination "Nikon". La monture F datant de 1959 est celle qui a rendu les objectifs compatibles jusqu'au dernier DSLR produit avant l'arrivée de la monture Z des boîtiers mirrorless.

Les objectif G = Gelded qui ne peuvent pas se monter sur des boîtiers ne permettant pas de changer l'ouverture via l'électronique car ces objectif sont dépourvus de bagues d'ouverture manuelle.

Les objectifs Ai-S où S = "Shutter" permettent une précision supplémentaire dans la sélection de l'ouverture grâce au passage d'une mécanisme non linéaire à un mécanisme linéaire [112, 14, 32, 120] ceci dans le but de développer le mode "Aperture Priority". Plus tard avec les objectifs AF la transmission de l'ouverture au boîtier se fera de manière électronique. Les formules optiques entre les objectifs Ai et Ai-S resteront inchangée (même qualité) sauf pour le 28mm F/2.8 Ai-S [24].

Nikon a développé le "Close-Range Correction" (CRC) permettant une excellente correction de l'aberration sphérique et de la courbure de champ à focus rapproché grâce à une lentille flottante. Cette technologie est présente dans le Nikkor 28mm F/2.8 Ai-S.

Le rideau du Nikon FM 2 existe en 2 version, nid d'abeille = "Honeycomb" en titane et lisse qui est la version la plus récente.

La version nid d'abeille est plus fragile et sera moins robuste.

Les objectifs non Ai :

- Possèdent une fourchette de couplage photométrique pleine contrairement aux objectifs Ai et Ai-S où la fourchette est évidée
- Ne possèdent pas de double affichage des ouvertures

La différence entre un objectif Ai et Ai-S :

- Le dernier stop, en général F/22, est en orange sur l'Ai-S et bleu sur l'Ai
- Possède un double affichage des ouvertures
- L'Ai-S comporte un petit creux sur le plat de la bague de montage en aluminium
- L'Ai-S possède une distance minimale de mise au point plus courte
- La bague de focus fait un peu plus d'un demi tour avec les Ai alors que la course de la bague de focus des Ai-S est plus courte

Appareil photo exploitant les particularités de Ai-S : FA, F4, FG, F301

Les objectifs estampillés Nikon E (et pas Nikkor) ont des formules optique identiques aux Ai et Ai-S mais :

- Ils ont des traitements optiques plus simples
- Ils fournissent des images moins contrastées que les Ai ou les Ai-S
- Ils sont sensibles aux flares lorsqu'ils sont utilisés en contre-jour

Les objectifs pre-Ai ne peuvent en principe pas se monter sur des boîtiers Ai car la présence de l'ergot de couplage sur le boîtier ne le permet pas, cependant certains boîtiers possèdent un ergot rétractable = 'Flip-up AI tab' : FM, FE, EL2, F3, F4 et Nikkormat FT3

Les objectifs pre-Ai nécessitent d'effectuer la procédure "click-click" au moment du couplage avec le boîtier afin d'indexer manuellement l'ouverture pour le spotmeter.

Sur les boîtiers conçus pour des objectifs Ai mais à ergot rétractables couplés à des objectifs Pre-Ai ne peuvent fonctionner qu'en manuel, la mesure de l'exposition se fait à la valeur de l'ouverture choisie = "Stop Down Metering".

La monture Nikon :

- [The 1001 nights Nikon](#)
- [Nikon F Collection and Typology - Richard de Stoutz](#)
- [Nikon Lens Compatibility - Ken Rockwell](#)
- [Nikon Lens Technology - Ken Rockwell](#)
- [La monture F - Pete Motitas](#)
- [How to Choose Nikon Old Lenses - Steven Tanno](#)
- [Objectifs NIKON - Arkady Shapoval](#)
- [Nikon Lens Versions and Serial Nos - Roland Vink](#)
- [Nikon F3 serials](#)
- [Objectieven - Roland Vink](#)
- [Lens Survey And Subjective Evaluations - Bjørn Rørslett](#)
- [Mode d'emploi boîtier argentique Nikon - José Miro Del Valle](#)

| Année | Type                | AF | Info F/D | Features  |
|-------|---------------------|----|----------|---|
| 2018  | Z                   | ✓  | ✓        | Spécifique mirrorless, compatibilité monture F avec un adaptateur FTZ   |
| 1998  | AF-S                | ✓  | ✓        | Moteur AF interne à l'objectif  |
| 1992  | AF-D                | ✓  | ✓        | Transmission de la distance au boîtier, moteur AF dans le boîtier   |
| 1986  | AF                  | ✓  | ✓        | Moteur AF dans le boîtier, contrôle de l'ouverture  |
| 1982  | Ai-S                | -  | ✓        | Transmission de l'ouverture manuelle via ergot de couplage photométrique sur le boîtier, transmission de l'ouverture maximale et de la focale de l'objectif (pour la sélection auto du tp pour éviter les bougés) |
| 1979  | E                   | -  | ✓        | Type Ai-S, traitement simple des lentilles, nom = "Nikon" et pas "Nikkor", dotés d'un fût en plastique  |
| 1977  | Ai                  | -  | ✓        | Transmission de l'ouverture manuelle via la fourchette de couplage photométrique sur l'objectif   |
| 1977  | F = Pre-ai = Non Ai | -  | -        |   |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : AF-S = Silent wave motor, Ai-S = Automatic maximum aperture indexing and Shutter, E = Economy, Ai = Automatic maximum aperture indexing*

Les objectifs Nikkor peuvent être utilisés sur les derniers Nikon hybrides mais pas sans limitation.

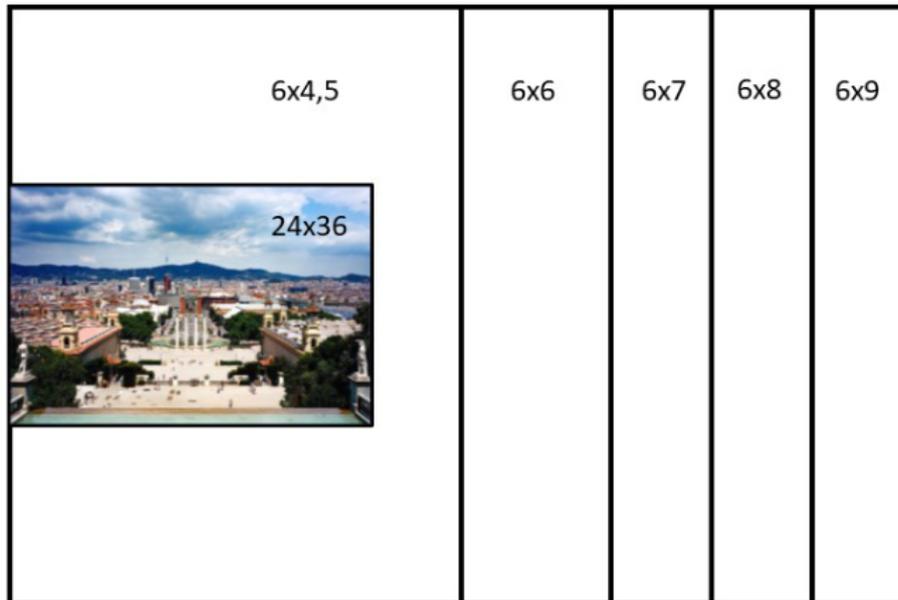
Ken Rockwell a dit "Manual-Focus F, AI converted, AI and AI-s don't work very well, with no communication or control of aperture. Manual-focus lenses work much better on any FX DSLR than on the FTZ" [90].

### 17.7.5 Rangefinder

Un appareil photo de type "Rangefinder" tel le Leica M6 ou l'Olympus 35 SP, est un appareil photo argentique ne possédant pas de miroir car la visée se fait en dehors de l'axe de la prise de vue. L'avantage est que la partie mécanique de relevage du miroir n'existant pas il n'y a pas de vibration et moins de panne. Toutefois le rangefinder peut devenir difficile à utiliser si on installe un télé-objectif un peu long.

### 17.7.6 Le moyen format

Ce format de pellicule appelé 120 ou 220 en version 2 fois plus longue (même hauteur = 56 mm) existe depuis 1901 alors que le format 24x36 ou 135 existe depuis 1923 utilisé dans le cinéma à l'origine. Le film 120 offrant une surface plus grande permet une résolution plus importante que le format 134.



Credit : [Laurent Dufour](#)

Il y a eu beaucoup d'autres formats de pellicule dans l'histoire mais seul les 120 et 135 subsistent encore aujourd'hui. Le moyen format du fait de sa grande surface sensible permet des prise de vues de tailles ou de formes différentes, par exemple carré ou rectangulaire selon les possibilités des appareils moyen format utilisés [94].

Le moyens formats les plus répandus

| Taille image (cm) | Nombre de vues | Appareil  |
|-------------------|----------------|---|
| 6 x 4.5           | 16             | Mamiya 645, Pentax 645, Bronica ETR, Fujifilm GA645, Diana F+   |
| 6 x 6             | 12             | Hasselblad 500C/503CW, Mamiya C330, Mamiya 6, Bronica S/SQ, Rolleiflex Pentacon Six TL, Rolleicord 6, Lomo LC-A 120, Diana F+ |
| 6 x 7             | 10             | <a href="#">Pentax 67 MLU</a> , Mamiya RZ67, Mamiya RB67, Mamiya 7, Fujica GW670 III  |
| 6 x 8             | 9              | Fujica GW680 III, Fujifilm GX680 III  |
| 6 x 9             | 8              | Fujica GW690 III  |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : les 6 x 9 est le même rapport de dimension d'image  $L \times H = \text{“Aspect Ratio”}$  que le 35mm*

Les versions de pellicules moyen format 220 permettent de doubler le nombre de vues par rapport à une pellicule de 120.

## 18 La Photographie

La photo est souvent considérée comme un art à part entière qui se distingue de l'image qui trust aujourd'hui nos écrans numériques. Cependant cela reste une question ouverte. Car pourquoi ne pas intégrer des productions purement numériques dans le domaine de l'art en général? Du moment que l'on distingue bien ces catégories avec des moyens juridique et/ou technique à inventer, il n'y aura pas de concurrence injustes ou déloyales.

## Artistes photographes célèbres

| Artiste               | Pays      | Années      | Agence                                     | Appareil(s)   | Film  | Style               |
|-----------------------|-----------|-------------|--|---|-------|---------------------|
| Henri Cartier-Bresson | France    | 1908 - 2004 | Magnum                                     | Leica   |       | Street              |
| Robert Doisneau       | France    | 1912 - 1994 | Vogue                                      | Rolleiflex  |       | Street, Portrait    |
| Robert Capa           | Hongrie   | 1913 - 1954 | Dephot, Magnum<br>Alliance-Photo<br>Magnum | Leica   |       | War                 |
| Helmut Newton         | Allemagne | 1920 - 2004 | -  | Rolleiflex, Fuji 645  | Tri-X | Celebrity           |
| Ernst Haas            | Autriche  | 1921 - 1986 | Magnum                                     | Rolleiflex, Leica   |       | Fine Art            |
| Robert Frank          | Suisse    | 1924 - 2019 | Harper's Bazaar                            | Leica 3   |       | Society             |
| Vivian Maier          | USA       | 1926 - 2009 | -  | Kodak Brownie   | -     | Street              |
| Garry Winogrand       | USA       | 1928 - 1984 | -  | Leica M4  | Tri-X | Street              |
| Elliott Erwitt        | USA       | 1928 - 2023 | Magnum                                     | Rolleiflex, Leica   | -     | Street, Humor       |
| Don McCullin          | UK        | 1935        | Sunday Times                               | Nikon F, F2   |       | War                 |
| Daido Moriyama        | Japon     | 1938        | -  | Ricoh GR1   |       | Street              |
| Joel Meyerowitz       | USA       | 1938        | -  | Leica   |       | Street, Portrait    |
| Irving Penn           | USA       | 1943 - 2000 | Vogue                                      | Rolleiflex<br>Mamiya RZ67                                     | Tri-X | Rock stars, Fashion |
| Peter Lindbergh       | Allemagne | 1944 - 2019 | Vogue                                      | Pentax 6x7<br>Nikon F3, F4                                    | Tri-X | Celebrity, Fashion  |
| Bruce Gilden          | USA       | 1946        | Magnum                                     | Leica M6  | -     | Street, Portrait    |
| Annie Leibovitz       | USA       | 1949        | Rolling Stone<br>Vanity Fair<br>Vogue      | Fuji 6×9<br>Minolta SRT-101<br>Canon 5D Mark II<br>Nikon D810 |       | Celebrity, Portrait |
| Steve McCurry         | USA       | 1950        | Magnum                                     | Nikon FM2, Leica  |       | War                 |
| Michael Kenna         | UK        | 1953        | -  | Nikon, Hasselblad   | Tri-X | Landscapes, BN      |
| David LaChapelle      |           | 1963        | -  | Canon 5D Mark III   |       | Fine Art, Surreal   |
| Terry Richardson      | USA       | 1965        | Rolling Stone<br>Vogue, GQ                 | Yashica T5, T4  | -     | Celebrity, Fashion  |
| Trent Parke           | Australie | 1971        | Magnum                                     | Leica M6, Mamiya 7  | -     | Street              |
| Dan Rubin             | UK        | -           | -  | Leica M6  | HP5+  | Fine Art            |
| Henri Prestes         | Portugal  | -           |  | Nikon D850  | -     | Fine Art            |

Credit : J.G. Gricourt

Sebastião Salgado à dit : ‘La photo n’est pas une image’

### 18.1 Types de photo

La liste :

- Photo journalisme
- Photo de rue
- Photo “Fine Art”
- Photo minimaliste
- Photo de concert

- Photo événementiel
- Photo de mode
- Photo de mariage
- Photo de portrait
- Photo de voyage
- Photo commerciale
- Photo de sport
- Photo animalière
- Photo de paysage
- Photo macro-photo
- Photo de boudoir
- Photo astrophoto
- Photo “Peak Emotion” 
- Photo générées par AI
- Photo Adamski effect
- Photo “ICM” = Intentional Camera Movement

## 18.2 Street Photo

La “Street Photo” consiste à prendre des clichés dans la rue au hasard des rencontres et des opportunités. Il n’y a donc aucune intervention préalable dans la composition des photos, on se laisse guider par les événements. Il faut donc être réactif et déclencher sur l’instant. Un autre paramètre à prendre en compte est la discrétion. En effet pour prendre le gens tel qu’ils sont sans influencer leur comportement et obtenir ce que l’on appelle des “Candid Shot” il faut se fondre dans le paysage ou parfois respecter une certaine distance [131].

Certains photographes sur Youtube, souvent des jeunes qui n’ont pas vécu l’âge d’or de la photo dans les années 50-80s, pensent que faire de la “Street Photo” consiste à aborder les gens, leur parler et finalement leur demander la permission avant de les photographier. Ils utilisent pour cela des techniques de séduction pour gagner la confiance de leur sujet afin d’arriver à leurs fins, voir les nombreux tutos sur Youtube “Je vous trouve élégantes, vous êtes une belle personne, je vous montre mon book” etc ... un exemple de ce type d’approche est celle pratiquée par Genaro Bardy un photographe Youtubeur spécialiste de la photo de rue [111] qui se confronte à la méfiance systématique des gens de notre époque troublée car rien ne va de soi.

Cependant cette approche qui paraît parfaitement respectueuse va selon moi à l’encontre du côté spontané de la photo de rue, et au final on réalise un portrait préparé et organisé par le photographe où le sujet s’est laissé guider à un moment donné et n’est plus dans sa dynamique initiale. Selon moi on est alors loin d’une photo totalement improvisée et furtive qui constitue l’essence même de la “Street Photo” des grands photographes des années 50-80s.

**Bruce Gilden (1970 - 80)** [125] est un photographe qui considère la rue comme une pièce de théâtre, il a passé sa jeunesse à Brooklyn à observer la rue avant de la photographier plus tard. Il a principalement photographié dans New-york, une ville tumultueuse où il se passe toujours quelque chose à tout instant. Il ne cherche pas à enjoliver les choses car il capture l’instant tel un félin en bondissant en pratiquant des cadrages extrêmement serrés car les gens sont comme il sont sur ses photos. Il shoot la plupart du temps en noir et blanc, avec un Leica M et un 28mm et avec flash !

Citation : “Ce n’est pas la perfection qui m’intéresse, c’est l’organisation du chaos”, “The only way to make good pictures is to push yourself out of your comfort zone”.

**Garry Winogrand (1970 - 80)** [69] est l’un des plus prolifiques photographes de rue. Il a été un photographe compulsif, un pionnier de la photo de rue. Son sujet c’est le piéton, le passant, la foule, il a photographié essentiellement dans les grands centres urbains. Il avait le sentiment que le monde de la rue était là pour lui dans le spectacle qu’il avait choisi

d'assister. Garry est l'homme invisible car il n'aborde jamais les gens pour cela il use de techniques de furtivité pour ne pas attirer l'attention au moment de prendre la photo, c'est une sorte de prestidigitateur. Ses photos ne devaient pas être très intéressantes à son époque mais elles sont devenues aujourd'hui un témoignage essentiel d'un certain passé. Il shoot avec un Leica M4 et un 28mm.

Citation(s) : "Sometimes I feel like the world is a place I bought a ticket to. It's a big show for me as if it wouldn't happen if I wasn't there with a camera.", "The world isn't tidy ; it's a mess. I don't try to make it neat".

**Jeremy Paige (2010 - 2025)** [81] représente la génération la plus moderne de la photographie de rue. Il parcourt Los Angeles à la recherche de l'inattendu, de la photo originale. Il est en chasse et n'hésite pas à rentrer dans la sphère d'intimité des gens mais sans nécessairement s'attarder pour rentrer en contact, car il est en mission est doit déjà penser au prochain cliché. Il shoot en argentique avec un Nikon F4.

Se rapprocher sans être vu est l'une des pierres angulaires de ce style de photographie, pourtant Robert Kappa disait : "Si vos photo ne sont pas assez bonnes c'est que vous n'êtes pas assez près". Il faut faire partie de la scène sans être acteur directement cela demande une pratique quotidienne pour gagner en confiance.

Il faut donc parfois établir un contact de convenance lorsque la distance le nécessite pour ne pas s'engager dans un rapport de force :

- Avant la photo : "Je peux me permettre", "Ca vous ennuie si je vous photographie?"
- Pendant la photo : "Magnifique", "Incroyable"
- Après le photo : "Vous êtes beau / belle on dirait ...", "C'est pour ça que je me suis permis de faire photo"
- En partant : "Merci bonne journée", "Bonne continuation"

Autres sources d'inspiration :

- Henri Cartier-Bresson - Images à la Sauvette, L'instant Décisif
- Robert Frank - The Americans
- Vivian Maier - Vivian Maier Street Photographer
- Alex Webb - The Suffering of Light
- Helen Levitt - Helen Levitt
- Phil. Penman - New-York

Techniques pour démarrer :

- Pour ne pas rester trop passif, partir avec un appareil simple doté d'une focale fixe ce qui nous obligera à nous déplacer pour mieux découvrir explorer la scène et ne pas simplement rester passif en attendant que l'oiseau passe
- Pour rester à distance en attendant de parfaire notre technique d'approche discrète on pourra utiliser des objectifs de longues focales mais cela se fera au détriment du contexte dans l'image et de la furtivité
- Pour éviter de rater l'instant on pourra utiliser des objectifs de courte focale 35mm ou 28mm, un recadrage sera toujours possible en numérique (avec des appareils à forts mégapixels)
- Pour être près à déclencher et éviter le flou de mise au point, régler à l'avance son appareil pour la profondeur de champ (l'ouverture) autorisant une plage de distance nette assez large (voir hyperfocale ou technique de zone focusing)
- Pour être près à déclencher et éviter le flou de bouger, passer en mode manuel (ISO auto sur APN), selon l'ouverture sélectionnée surveiller que le temps de pause suffisant
- Pour voir avec ses deux yeux, on utilisera le viseur et pas l'écran (un oeil dans le viseur et l'autre dans la scène)
- Lorsque la scène est partagée entre ombres et lumières sous exposer la scène de -2 IL avec la compensation d'exposition
- Porter l'appareil photo haut (raccourcir le cordon) pour gagner en rapidité

Il y a plusieurs catégories de photographes tous très différents dans leur approche. Il y a les rentre dedans qui ne se posent pas de questions et s'approche "dangereusement" de leur sujet au point de provoquer une certaine tension : Bruce Gilden, Jeremy Paige, Dougie Wallace. D'autres recherchent l'absolue discrétion couvrant leur "méfait" : Garry Winogrand. Enfin une autre majorité de photographes de rue aux méthodes plus actuelles, recherchent un contact même bref avec leur sujet pouvant aller jusqu'à la discussion afin de donner plus de sens encore à leurs clichés.

Techniques de furtivité [67, 75, 68] :

- Avoir l'air d'un touriste, donc pas de matériel ayant un aspect professionnel, ni de sac trop voyant et une tenue qui fait penser à un touriste
- Pour être invisible il faut se rendre visible, donc il ne faut pas cacher son appareil photo comme un voleur qui cache ses intentions, si le public vous identifie facilement comme un photographe ou un touriste dans la rue vous serez moins visible par la suite.
- Pour ne pas donner la sensation de viser une personne :
  1. Continuer de marcher tout en ayant un oeil dans le viseur faisant croire que l'on ne vise pas la personne en face où que l'on ne se prépare pas à prendre une photo (en étant à l'arrêt)
  2. Regarder l'écran orientable de l'APN par le haut où bien utiliser des boîtiers argentiques à visée par le haut et shooter
  3. Faire semblant de viser une direction tout en ayant repéré un sujet puis repointez au dernier moment lorsque le sujet ne sera plus attentif (méthode Garry Winogrand)
  4. Faire semblant de ne pas connaître son appareil en le manipulant nerveusement, alterner très vite entre oeil au viseur et manipulations = "Look Confused" (méthode Garry Winogrand) afin que le sujet ne soit jamais certains de votre intention
  5. Regarder un point fixe en dehors du champ du sujet juste après avoir pris la photo afin de montrer au sujet que vous aviez visé ailleurs.
  6. Regarder son écran avec son APN tenu à bout de bras pour donner l'impression de filmer
- Pour gagner en invisibilité, se rendre dans des endroits où il y a la foule car il y a trop de stimuli les gens ne sont plus attentifs à leur proche environnement
- Pour que les gens finissent par vous ignorer (celà peu prendre du temps parfois) rester longtemps dans un endroit
- Pour que les gens ne soient pas intrigués par vous n'utiliser que des appareils discrets et des objectifs plats moins intimidant

Techniques d'approche :

- Si la distance le demande alors engager un contact bref "Bonjour, Merci" et passer son chemin rapidement
- Si le sujet nous demande ce que nous faisons, partir avec un discours préparé à l'avance sur notre intention, exemple "Je m'exerce à la photo, en particulier je cherche des personnes avec un look qui me plaît, c'est ce que je fait", "J'espère que je ne vous dérange pas (sinon je supprime la photo si vous préférez)", expliquer qu'il n'y a aucun but commercial, c'est notre hobby.
- Si l'on veut prendre un portrait plus posé d'un inconnu, lui demander la permission et lui indiquer l'endroit et la pause souhaitée
- Il peut être parfois nécessaire d'expliquer que photographier dans l'espace public est un droit en France.

Pour conclure la "Street" selon ma définition c'est surtout être témoins de la vie de son époque, c'est aussi capturer ce qui nous touche, ce qui nous motive, ce qui nous interroge. Attention ce n'est pas un reportage non plus, car ici on ne recherche pas le moment où les instants pour lequel on a été missionné, ici on fait pleinement partie du décor, et notre présence n'est donc pas cachée ou mise en retrait. Pour être dans les meilleures dispositions il faut d'abord être libre de sa technique, des convenances, des préjugés. On est alors physiquement engagé lorsque l'on va déclencher car lorsque certains flânent, d'autres

court après le temps ou s'arrête sur un banc public nous nous prenons simplement des photos.

Liens :

- [Street Photography France - Asso](#)

Matériel :

- Un appareil photo compact comme un Leica M ou un Full Frame semi pro
- Un appareil photo léger, moins de 500g
- Un unique objectif à focale fixe discret : 26mm, 28mm et plus rarement 35mm, la pluparts sont aussi des objectifs discrets de type "Pancake" sur Full Frame
- Pour les APN :
  1. Un auto-focus performant pour la réactivité mais le mieux est le mode manuel pour bien choisir le point de focus en recadrant
  2. Une durée de vie de batterie longue au moins 300 - 400 clichés CIPA
  3. Une montée en ISO correct pour faire des photos mêmes dans des lieux mal éclairés
  4. Un capteur au maximum de 24 Mpixels pour garder une plage dynamique importante et une montée en ISO performante
  5. Un écran orientable vers le haut (voir technique de furtivité)

Réglage pour la street photo pour la photo en mode "Pêche" : on prépare une composition et puis on attend de ferrer un sujet qui passera devant.

- Si on fait un portrait on passera en mode priorité ouverture à  $f/2.8$  ou moins afin d'isoler le sujet du fond sinon on restera en mode priorité vitesse
- Objectif à focale fixe (Prime) afin de pouvoir bouger et rechercher les bons angles
- Compensation d'exposition à -1 afin de sous exposer d'1 stop pour rendre les images plus contrastées

Réglage pour la street photo pour la photo en mode "Chasse" : on se promène et on cherche un sujet ou une scène à l'improviste = le reporter

- Mode priorité vitesse  $1/250$  afin de figer le mouvement
- Objectif zoom afin d'être réactif = le paparazzi
- Compensation d'exposition à -1 afin de sous exposer d'1 stop pour rendre les images plus contrastées

### 18.3 L'effet eau lisse

Cette effet est celui produit lorsqu'on pose plusieurs secondes afin de rendre l'écoulement ou les mouvements de l'eau (rivière, cascade, océan) lissé. Cet effet s'appliquera au mouvement des nuages qui les rendra plus cotonneux et flous. Il faut produire un temps de pose tp anormalement long alors que la luminosité de la scène est forte. C'est l'utilisation d'un filtre ND gris qui va ralentir l'exposition de plusieurs stops.

Conditions de réalisation :

- Poser l'APN sur un trépied
- Placer le filtre ND devant l'objectif
- Régler l'APN sur une vitesse lente

L'eau en mouvement prend une apparence diffuse et lisse.

## 18.4 L'effet filé

Cet effet est celui produit lorsque un sujet bouge vite et que l'arrière plan produit des lignes horizontales. Il faut produire un temps de pose tp anormalement long pour une utilisation à main levée.

Conditions de réalisation :

- Prendre l'APN en main
- Régler l'APN sur une vitesse lente : 1/30sec
- Suivre le sujet en mouvement de manière la plus fluide possible et déclencher

Normalement le sujet sera net et le fond produira cet effet de filé, procurant cette sensation de vitesse à la photo.



Credit : [Flickr](#)

## 19 Workflow Photo

Il s'agit de ma méthode perso de triage et de traitement des photos numériques.

### 19.1 Tri des photos

Un exemple de workflow :

1. Shooter en JPG + RAW
2. Copier les fichiers .RAF dans un répertoire /RAF, Créer une version réduite des fichier .JPG et copier les fichiers .JPG originaux dans un répertoire /JPG :
3. Copier et classer les photos .RAF dans /RAF de la carte SD dans un répertoire sur l'ordinateur (voir commande 1)
4. Lancer Faststone Viewer et ouvrir le répertoire contenant les fichiers .JPG
5. Passer en revue les photos et taguer celles qu'on voudra supprimer après : Menu étiquettes / Activer l'étiquetage.
6. Filtrer que les photo marquées comme à supprimer : **SHIFT + Q**
7. Sélectionner les photos : **CTRL + A** et supprimer
8. Synchroniser le répertoire des RAW soit manuellement ou avec un logiciel développé en interne "PhotoRawSynch.jar"

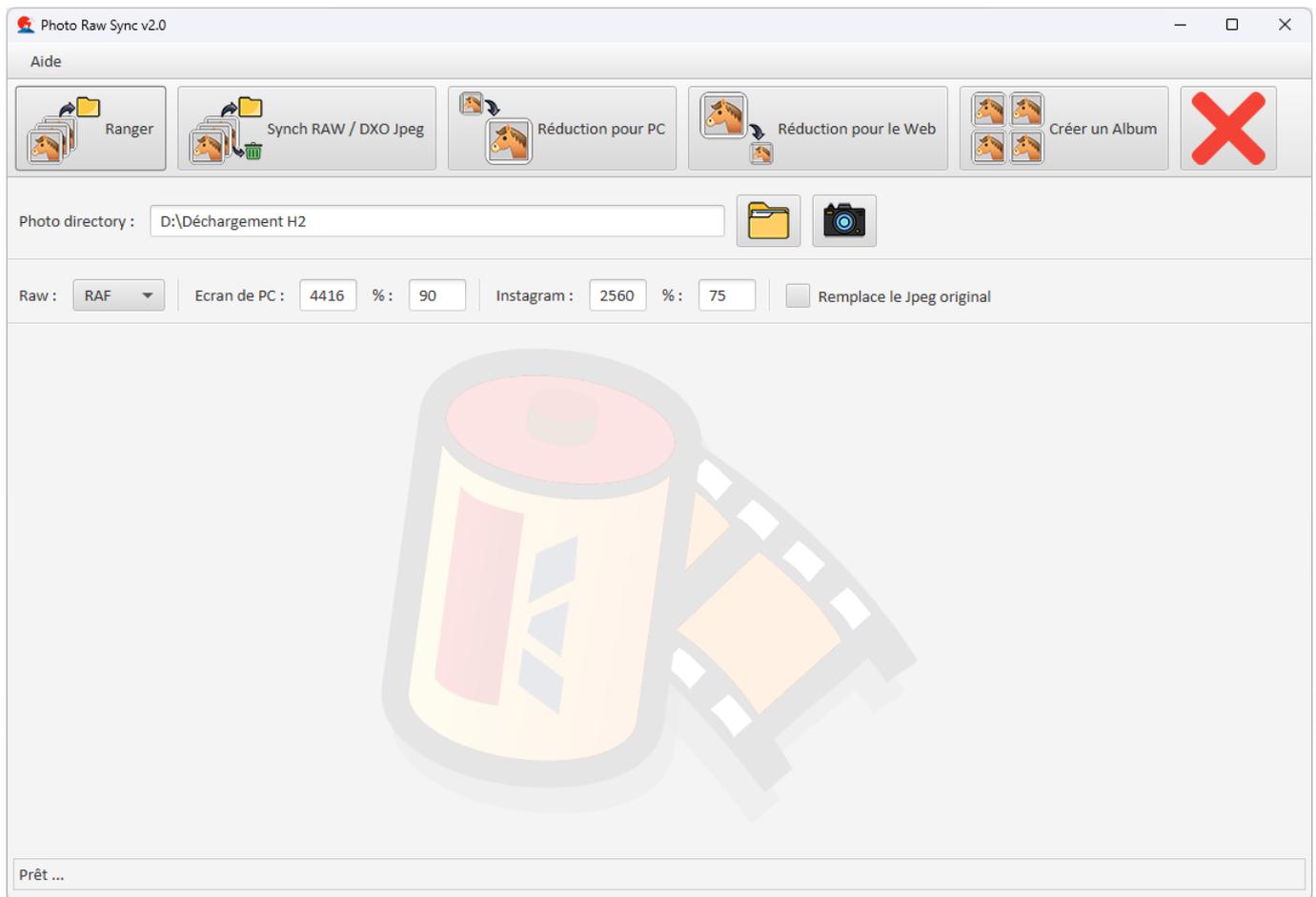
Opérations réalisées :

- Supprimer automatiquement les .RAF dont les images .JPG ont été supprimées
  - Classer les photos .JPG originales restant dans /JPEG
  - Redimensionner les .JPG originales à la dimension voulue sans toutefois toucher aux originaux classé dans le répertoire /JPEG, par exemple pour une obtenir une image de 26 Mpix on utilisera la plus grande dimension (largeur ou hauteur) = 4416 pixels
9. Importer le répertoire des RAW dans DXO PhotoLab
  10. Traiter les photos RAW
  11. Exporter le résultat dans un répertoire : **/Vacances à Dieppe 2022/JPEG**

**Alternative :**

J'utilise une application (JavaFx) développée en interne "PhotoRawSynch.jar" s'interfacçant avec "Magick", donc les pré-requis à installer :

1. [Java Runtime 21+](#)
2. [ImageMagick 7](#)
3. "Photo Raw Synch" software



Credit : J.G. Gricourt

L'application "Photo Raw Synch" permet :

- Classer les photos .JPG et .RAF copiées de la carte SD dans un répertoire sur l'ordinateur par date de prise de vue
- Synchroniser les fichiers raw (.RAF) et les fichiers jpeg du répertoire /JPEG en supprimant les fichiers raw devenus orphelins
- Créer des fichiers JPG miniatures à partir des fichiers JPG du répertoire /JPEG
- Générer un album Web

Le tri des photos se fait directement dans le répertoire /JPEG avec le visualisateur Windows qui permet de supprimer les photos dont on a pas besoin, ensuite il faut lancer la fonction "Synchroniser les fichiers raw" de "Photo Raw Synch" pour supprimer aussi les fichiers raw orphelins.

La commande Magick utilisée par "PhotoRawSynch.jar" pour la création des miniatures = "Thumbnails" au format 24Mpix

```
$ magick DSCF2648.RAF -resize 4416x4416 -quality 100 out.jpg
```

## 19.2 Développement des photos

Il s'agit du développement du fichier RAW réalisé pour produire la photo finale (.JPG) et celui ci comprend plusieurs étapes :

### 1. Dématricage

2. Débruitage = “Denoise”, ex : DeepPrime
3. Recadrage, correction de l’horizontalité, suppression des spots (poussières visibles à petites ouvertures F/D)
4. Correction fine de l’exposition
5. Correction du contrast, sharpening
6. Correction fine de la colorimétrie, balance des blancs, LUT grading (équivalent des simulations de films)
7. Correction de l’optique : distorsions géométriques, vignettage, aberration chromatique
8. Ajout de grain (effet film NB), vigettage (effet ancien appareil photo), flou artistique, simulation de film etc ...

Logiciels :

- [Pure RAW 3.0](#) (ne fait que le dématricage et le débruitage)
- [Photo Lab 7.0](#)

*Note : Lightroom 12.3+ contient un module de denoise mais n’a pas résolu le problème de “worming” produit avec les RAW Fujifilm alors qu’a contrario DXO PhotoLab (inclu DXO Pure RAW) propose un dématricage parfait du RAW Fujifilm complété par le denoise le plus performant du marché*

Dans les 2 premiers un traitement de “Denoise” très poussé sont basés sur des algorithmes d’AI est proposé.

[David Coleman](#) à dit : “The general rule of thumb in photography is that it’s better to get the shot right at the time of capture rather than trying to fix it after.”

**A propos de DeepPrime :** “DeepPRIME” est la principale fonctionnalité de DXO Pure Raw et est intégré dans DXO PhotoLab, il s’agit du traitement de dématricage et de dénoise du fichier RAW.

[Rob Lawtone](#) à dit : “DeepPRIME works best with raw files shot at high ISO settings and photos taken with small sensor cameras with small photosites. DxO says it is especially effective for photos taken in low light, especially those which need brightening, and images taken on older, previous generation cameras. Claiming better color details and more natural transitions, the company says DeepPRIME offers a gain of two ISO steps for the same levels of image quality.”

The only downside of this high-powered processing is that the results can only be previewed in a small window and images must be processed and exported as JPEG or TIFF files."

## 20 Récapitulatif matériel photo

Camera Selector

| Criteria     | Landscape        | Wildlife / Sport | Street         | Portrait   | Wedding / Kids | Astrophoto  |
|--------------|------------------|------------------|----------------|------------|----------------|-------------|
| Size         | FF / Crop        | FF / Crop        | FF             | FF         | FF             | FF          |
| Sensor       | BSI              | SS               | BSI / SS       | BSI        | BSI / SS       | BSI         |
| DNR          | High             | Medium           | Medium         | Medium     | Medium         | High        |
| Pixels       | 40 Mpx           | 40 / 26 Mpx      | 26 Mpx         | 40 Mpx     | 26 Mpx         | 12 / 26 Mpx |
| Shutter      | Mech.            | Elec. / Global   | Mech.          | Mech.      | Mech.          | Mech.       |
| AF accu.     | High             | High             | High           | Medium     | Medium         | Medium      |
| AF track.    | Low              | High             | High           | Low        | High           | Low         |
| Lenses       | 15-35 / 70-200mm | 100-400 / 500mm  | 28 / 35 / 50mm | 85 / 135mm | 24 - 70mm      | 15mm        |
| Max Aperture | F/4              | F/2.8            | F/4            | F/1.8      | F/1.8          | F/1.8       |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : Crop = “Zoom effect”, SS = “Stacked Sensor”, AF accu. = “Medium”, AF track. = “AF based on IA tracking”, Mech. = “Mechanical Shutter”, Elec. = “Electronic Shutter”, Global = “Global Shutter”*

En général des objectifs à ouverture max F/4 ont une meilleure résolution que des objectifs de même focale à ouverture max F/2.8.

## 21 Liens Internet

### 21.1 Galeries Photos

- [Amazon Photo \(compte Amazon Prime\)](#)
- [Flickr](#)
- [Pexels](#)
- [Pixabay](#)
- [500px](#)
- [ExploreCams](#)

### 21.2 Matériel

- [Explore Cams](#)
- [Photons Photos](#)
- [DXO Mark](#)
- [Imatest](#)
- [Image Sensors world](#)
- [Pix Location - Villeurbanne](#)

### 21.3 Média

- [Forum photo argentique](#)
- [Collection appareils - Forum](#)

### 21.4 Film

- [Emulsive](#)
- [Film is undead](#)
- [Film Recipes for Fujifilm Cameras](#)
- [Film simulation Fujifilm](#)
- [Which color film should you buy?](#)

### 21.5 Cours Photo

- [Forum Photo Argentique](#)
- [Film Terminology](#)
- [Film Article](#)
- [La photo argentique](#)
- [MPB Edu](#)
- [Photographylife](#)
- [Luminous Landscape](#)

- [Cambridge In Colour](#)
- [Capture The Atlas](#)
- [Genaro Bardy](#)
- [The Photographic Eye](#)

## 21.6 Outils gratuits

- [Silkypix \(demosaicing Fuji X-Trans\)](#)
- [Raw Therapee \(demosaicing Fuji X-Trans\)](#)
- [Adobe DNG Converter](#)
- [Adobe Camera RAW Photoshop Plugin](#)
- [Dof Simulator](#)
- [Image Magick](#)
- [Image Diff Checker](#)
- [Photopills Calculators](#)
- [Massive Dev Charts](#)
- [View Finder Preview](#)
- [Reciprocity Timer](#)
- [Fuji shutter count](#)
- [BeenTo - partage de photos](#)

## 21.7 Appareils Vintages

### 21.7.1 Info

- [Cameras & Films](#)
- [Cameras Lenses Database](#)
- [MF Lenses](#)
- [histoire des formules optique des objectifs](#)
- [Ken Rockwell](#)
- [Manuel OM-1](#)
- [Collection Appareils](#)
- [Wikibooks - Photographie / Fabricants](#)
- [MF Lenses Reviews](#)
- [Film Camera Manuals](#)
- [Mir - Malaysia](#)
- [Lens Repair & Review Articles](#)
- [Optical Limits](#)
- [Fred Miranda - Manual Focus Nikon Glass](#)
- [Photodo](#)
- [100 Appareils légendaires](#)
- [Fuji & Co](#)
- [Phillip Reeve Blog](#)
- [Manual Focus Lenses](#)

### 21.7.2 Achat

- [Occasion Photo](#)
- [Leboncoin, France](#)

- [Etsy](#), USA
- [MPB](#), Allemagne
- [Ebay](#), USA
- [Kamera Store](#), Finlande
- [Nikon Classics](#), Allemagne
- [Vente French Old Lenses](#), France
- [Camara Occasions](#), France
- [French Camera](#), France
- [Pellicule Photo](#), France
- [Retrocamera](#), Belgique
- [Photostock](#), Paris

### 21.7.3 Développement

## 21.8 Adresses photo argentique

### 21.8.1 Développement

- [Carmencita Film Lab](#), Espagne
- [Lyon Photo](#), Saint Symphorien d'Ozon
- [Fujifilm Photo](#), Lyon Cours Vitton
- [Grainy Roll](#), Saint-Grégoire
- [Négatif Plus](#), Paris
- [Photo Signe des Temps](#), Toulouse
- [L'Atelier de l'argentique](#), Nantes
- [Arcanes Labo](#), Montpellier
- [Pellicule Photo](#), Quimper
- [Labo Argentique](#), Limoges
- [Labo 1000](#), Schiltigheim

### 21.8.2 Démontages

- [Changement des mousses \(1\)](#)
- [Changement des mousses \(2\)](#)
- [Richard Haw](#)
- [Diy Extravaganza](#)
- [Hostophoto](#)
- [Fix Old Cameras: Nikon FM2 View Finder Screen Install](#)
- [How to put a focusing screen into your Nikon Film camera](#)
- [Interchangeable Focusing Screens](#)
- [Clean FM2 focusing screen](#)

### 21.8.3 Réparations

- [Larderet](#), Lyon
- [Photo Cine Réparation](#), Nantes
- [Clique Argentique](#), Saint Etienne
- [Bobinette Photo](#), Strasbourg
- [Procirep](#), Paris
- [24x36 Photo](#), Bordeaux

- [Photo Cine](#), Avignon
- [Hosto Photo](#), Aix-en-Provence
- [PM2S](#), Voisins-Le-Bretonneux
- [Photo Clinic](#), Ougney
- [Carmencita Film Lab](#), Espagne
- [Citizen Pelu / diyextravaganza](#)
- [Camera Revival](#), Belgium
- [Jean-Philippe Fahrni](#), Lancy Suisse
- [Pro Lense CLA](#), Taiwan
- [Les piles des anciens appareils](#)
- [Camera Center of York](#)

#### 21.8.4 Solutions pour les scans avec un APN

- [Essential film holder](#)
- [Skier Sunray copy box](#)
- [Valoi scanning kit](#)
- [Valoi easy35](#)
- [Negative Lab Pro](#) (logiciel)
- [Silverfast Ai](#) (logiciel)
- [Filmomat](#) (logiciel)

### 21.9 Produits

- [Purosol](#) - liquide pour surface optiques
- [Hama HTMC](#) - liquide pour surface optiques
- [Ulanzi](#) - Trépied Photo
- [DXO PhotoLab](#)
- [Dehancer](#) - Filtres photo argentique

## 22 Photographers

- [Squal Photographie](#)
- [About Photography](#)
- [Grands Photographes du 20e](#)
- [Polka](#)
- [Great Photographers](#)
- [Initiative Photography](#)
- [The Photographic Eye](#), Alex Kilbee
- [22 Photographes que vous DEVEZ connaître](#), Genaro Bardy

### 22.1 Henri Cartier Bresson (1908 - 2004)

Promoteur de “L’instant décisif” qui a inspiré les photographes qui l’ont succédé. C’est l’un des premiers photographe de rue, Henri Cartier Bresson à dit : “Photographier, c’est mettre sur la même ligne de mire la tête, l’oeil et le coeur”.



Le Baiser de l'hôtel de ville 1950



L'information scolaire 1956



Le vélo des 2 ponts 1953



Prévert 1955

## 22.2 Robert Doisneau (1912 - 1994)

Il est un représentant à la fois philosophe et humaniste du monde de la photo. Sa photographie est positive et emprunte de poésie, Robert Doisneau a dit : "Moi, la photographie, j'y connais rien du tout."



Le Baiser de l'hôtel de ville 1950



L'information scolaire 1956



Le vélo des 2 ponts 1953



Prévert 1955

## 22.3 Robert Capa (1913 - 1954)

Fondateur de l'agence Magnum il a couvert tous les grands conflits de son époque, il était aussi l'ami de Ernest Hemingway.



D-day 6 juin 1944



Picasso 1948



Frontière Espagne Mars 1939



Indochine 25 Mai 1954

## 22.4 Helmut Newton (1920 - 2004)

Appelé le "Voyeur Professionnel", sa photographie met en scène la femme de manière provocante.

Photographes similaires : Eric Kroll



Nastassja  
1983



Kinski  
Catherine Deneuve  
1976



Sigourney Weaver  
1983



Grace Jones 1985



Winnie On Deck 1975

## 22.5 Ernst Haas (1921 - 1986)

Le premier qui a exploité la couleur, il est appelé aussi le “Peintre de l’urgence”. Photographes héritiers : Eggleston, Leiter et Meyerowitz.



Californie 1976



Heure de pointe NYC 1980



New-York 1981



New-York 1952

A voir aussi : [Galerie](#)

## 22.6 Robert Frank (1924 - 2019)

Photographe connu pour son livre “The Americans” depicting l’amérique des années 50s il fait partie de la “Beat Generation”, il est ami de Jack Kerouac.

Photographes similaires : Todd Webb



Trolleybus New Orleans 1955



Charleston 1955



New Mexico  
1955



London 1951

## 22.7 Vivian Maier (1926 - 2009)

La gouvernante photographe de la vie de tous les jours (photographie vernaculaire) sont oeuvre a été découverte après sa mort. Walker Evans ou Robert Frank sont d’autres photographes dans le même style.



Bibliothèque NYC 1954



-



-



-



108 St NYC 1959

## 22.8 Garry Winogrand (1928 - 1984)

Garry Winogrand le photographe compulsif maître de la photo de rue, ces innombrables clichés témoignent de la vie en Amérique après guerre de 1950 à 1980. Après sa disparition il a laissé derrière lui 6 500 pellicules soit 250 000 images non révélées. Ses photos ne sont pas souvent bien cadrées ni droites et il ne cherche pas à jouer avec la lumière, il a dit : “The world isn’t tidy ; it’s a mess. I don’t try to make it neat” et aussi “I photograph to see what the world looks like in photographs.”

Photographes similaires : Walker Evans, Robert Frank, Diane Arbus, Phil. Penman, Bruce Gilden, Mark Cohen (street au grand angle).



Los Angeles 1980 - 1983



Los Angeles 1969



Peace Demonstration NYC 1970



Hard-Hat Rally NYC 1969

## 22.9 Elliott Erwitt (1928 - 2023)

Un autre photographe de rue très prolifique avec 600 000 négatifs produits, son style c’est l’humour, l’art de la substitution, le cadrage au millimètre et la passion des canidés.



New-York 2000



Boy with a baguette 1955



Eiffel Tower 1989



Felix, Gladys, Rover NYC 1974

## 23 Réflexions

### 23.1 Faire de la photo c’est quoi ?

Voici une réflexion nécessaire à avoir vis vis du matériel et de la course technologique vers laquelle les fabricants nous entraînent d’innovation en innovation. L’industrie de la photo est devenue un marché hautement lié aux innovations technologiques, et ce n’est que le début car les développements sur l’IA en photo ne sont qu’à leur balbutiement et les obturateurs mécaniques

sont maintenant en train de disparaître eux aussi après les miroirs. Les réseaux sociaux sont devenu un immense, concours permanent entre les “vrais photographes” dotés des appareils et objectifs derniers cri. Souvent les photographes amateurs moins fortunés et leurs appareils de l’année précédente sont malmenés pour ne pas dire dénigrés.

Il est clair que les nombreuses aides maintenant présentes dans les boîtiers photos peuvent représenter un progrès mais en réalité celles-ci s’adressent tout d’abord à certains professionnels ayant des obligations de productivité. Exemple d’innovations depuis l’avènement des appareils photos :

- Science des couleurs avec possibilité de réaliser des simulations de film
- Choix des paramètres d’exposition temps de pose, ouverture selon des critères très subtils
- Rapidité, précision de l’auto-focus
- Utilisation d’IA pour la reconnaissance et le suivi des sujets

Aujourd’hui de jeunes photographes pensent que tous ces artifices sont indispensables et qu’un autofocus manquant de précision et de rapidité est inacceptable dans la pratique de la photo même de loisir. Pourtant les grands photographes du 20<sup>ème</sup> siècle, les photojournalistes sportifs ou les photographes de la vie quotidienne ont travaillé toute leur vie avec des appareils sans autofocus ni aide sophistiquée pour parfaire leur exposition ou le rendu des couleurs et pourtant certains ont eu des succès que l’on peut admirer dans les galeries d’art moderne du monde entier, leurs travaux ont été reconnus et sont des références dans ce domaine et si ce n’a pas été le cas alors c’est dans les précieux (et poussiéreux) albums photos de famille qu’on pourra les retrouver. La photo ne se résume donc pas à cette bataille technologique, il s’agit d’un art personnel et non absolu, c’est la matière est en aucun cas l’appareil [113] qui compte. Si les grands peintres qui ont fait l’histoire de l’art n’avaient peint que des trompe-l’œil cela aurait été très ennuyant, tout comme si les poètes n’avaient décrit que la réalité crue pour nous faire rêver.

Historiquement et jusqu’à aujourd’hui les photographes reconnus dans le monde en tant qu’artiste à part entière utilisaient beaucoup de termes pédants et prétentieux pour ne pas parler de “Bullshit language” [116] pour décrire leurs œuvres à la manière de certains peintres. Par exemple Jack Bennett a dit “I once described a blurry photo of my lunch as an exploration in culinary abstraction. Let’s be real; I just forgot to focus.” [8]. Est-ce qu’une œuvre a réellement besoin d’un sous-titre afin d’orienter l’observateur ingénu qui n’a pas les codes pour comprendre cet obscur entre-sois des artistes ? On retrouve cette manière de présenter les photos dans les publicités où le consommateur est guidé dès la première seconde du spot, on lui dicte quoi ressentir, quoi penser afin qu’il retrouve ces mêmes émotions positives lorsqu’il sera mis en face du produit présenté en rayon.

Partager ces “œuvres” oui mais ne rien attendre, juste des moments de partage et des souvenirs à conserver.

Faire de la photo et peu importe qui l’on est c’est prendre son appareil et capturer librement les instants qui nous inspirent et nous plaisent sans obligations économiques, sans réputation à honorer, sans rendre de comptes à qui que ce soit !

## 23.2 Arrêter de tous vous copier !

C’est flagrant on le voit aussi bien chez les professionnels que chez les amateurs, les photos se ressemblent toutes ! Une mise au point avant de poursuivre, un professionnel est un photographe qui est payé pour faire des photos et c’est la seule chose qui le distingue d’un amateur photographe lui aussi et peut aussi être un artiste et dont le travail est reconnu dans le monde de l’art. Lorsque je parle des photos qui se ressemblent toutes je veux parler de ces effets dont beaucoup abusent et attribuent à un “Look de photo pro” et s’imaginent que leur travail sera d’autant plus apprécié qu’il auront respecté ces pseudo-standards lors de la prise de vue. Il n’y a rien de plus agaçant que de voir ces photos pulluler sur Instagram, Flickr ou des sites de photographes qui se prétendent professionnels.

Voici un florilège d’effets abondamment utilisés.

**Le portrait sur fond flou** Les objectifs à grande ouverture sont le Graal de la photo pour beaucoup de photographes et les constructeurs surf sur la vague depuis l'époque de l'argentique cependant dans l'ère du numérique où l'on support mieux une sous exposition il n'est plus nécessaire d'utiliser de grandes ouverture la plupart du temps. Hormis des portraits où l'on cherche à produire un atmosphère intimiste détachée de l'arrière plan la grande ouverture sera peu utile en vérité. Si l'on est en voyage il serait contre productif de montrer des personnes où les fonds sont homogène car comment savoir dans quel contexte quel pays se trouvent ces personnes ?

L'utilisation du mode rafale permet aussi de capturer les instants où le sujet montre une expression plus naturelle.

**L'effet de filé d'eau** Beaucoup de photos de rivière ou de littoral montre l'eau de manière uniforme sans relief. Cet effet produit grâce à un filtre ND = "Neutral Density" on les appel des "Stopper" dont le rôle est de diminuer la lumière entrante dans l'APN afin de profiter de temps de pause plus élevé qui ne seraient autrement pas possible vue les conditions de luminosité de la scène. Le problème c'est que chez les photographes paysagistes l'utilisation de ces filtres est systématique ! Comme si une photo de paysage ne pouvait avoir d'intérêt qu'au travers de ces filtres.

### 23.3 Les ISOs produisent du bruit ! Vrai / Faux ?

C'est probablement l'affirmation la plus lue dernièrement sur les réseaux, et pourtant elle est totalement fausse ! Le bruit est d'abord un phénomène naturel de la lumière. Le bruit est une manifestation du caractère aléatoire de l'arrivée des photons sur le capteur photo. Ce bruit ou "Shot Noise" sera d'autant plus prononcé que la scène capturée sera mal éclairée ou bien que la quantité de lumière capturée par le capteur sera insuffisante. Ce bruit est donc inhérent à la nature de la lumière.

Cependant certains appareils photos sont plus optimisés que d'autres pour capturer plus de lumière et donc pour noyer le bruit dans l'image :

- L'utilisation de photosites plus grands permet d'enmagasiner plus de lumière par unité de temps
- L'utilisation d'un logiciel de traitement (firmware) permet d'atténuer le bruit au détriment de la résolution de l'image (effet de lissage)
- L'augmentation de la résolution de l'image permet de donner plus de latitude ensuite pour supprimer le bruit sans détériorer l'image en post traitement dans DXO PhotoLab ou Lightroom.

Donc les ISO ne sont pas vraiment un paramètre supplémentaire de l'exposition qui elle restera déterminée par le couple indissociable de l'ouverture et du temps de pause. Il est donc possible de produire des images avec très peu de bruit même dans un environnement mal éclairé pour peu que le photographe sache se servir correctement de l'ouverture et de la vitesse de son appareil.

Pour résumer on évite de rendre le bruit trop visible dans l'image dans les cas suivants :

- Augmenter l'ouverture de l'objectif afin de laisser passer encore plus de lumière
- Augmenter le temps de pause (diminuer la vitesse) afin de laisser passer encore plus de lumière
- Utiliser des objectifs à grande ouverture maximale f/2.8, f/1.8, f/1.4, f/1.2 ...
- Attendre le moment de la journée où il y aura le plus de lumière
- Utiliser un flash pour éclairer la scène en intérieur ou extérieur
- Utiliser un écran réflecteur en extérieur
- Utiliser un logiciel de post-traitement basé sur un IA comme DXO PhotoLab mettant à profit l'IA pour atténuer le bruit sur les photos traitées
- Réduire une image à forte densité de pixels (45 Mpix) en une image à faible densité de pixels (24 Mpix) permet de supprimer complètement le bruit

## 23.4 Les pellicules en 2024 sont hors de prix !

Nous avons l'impression que les pellicules puisque celles ci sont plus rares elles sont nécessairement plus cher qu'à la grande époque de l'argentique. Lorsqu'on corrige les prix de l'inflation on constate même que le prix des pellicule n'a pas vraiment changé !

Le prix des pellicules

| Les FILMS NEGATIFS COULEUR     |      |        |      |
|--------------------------------|------|--------|------|
| ➡ Prix relevés au 25/10/1989 ➡ | Mini | NORMAL | Maxi |
| Kodak Ektar 25                 | 44   | 46     | 62   |
| Agfacolor XRG 100              | 29   | 31     | 33   |
| Agfacolor XRS-N 100            | 32   | 34     | 36   |
| Fujicolor Reala 100            | 33   | 44     | 57   |
| Fujicolor Super HR 100         | 32   | 35     | 43   |
| Kodacolor Gold 100             | 34   | 35     | 42   |
| Kodak Ektar 125                | 38   | 46     | 57   |
| Konica Color SRV 100           | 26   | 28     | 36   |
| Perutz Color 100               | 29   | 30     | 30   |
| Polaroid 100                   | 34   | 35     | 39   |
| Agfacolor XRG 200              | 32   | 34     | 34   |
| Agfacolor XRS-N 200            | 34   | 37     | 38   |
| Fujicolor Super HG 200         | 34   | 37     | 45   |
| Kodacolor Gold 200             | 36   | 38     | 47   |
| Konica Color SRV 200           | 31   | 32     | 36   |
| Polaroid 200                   | 34   | 38     | 39   |
| Agfacolor XRS-N 400            | 37   | 39     | 39   |
| Fujicolor Super HG 400         | 38   | 40     | 50   |
| Kodacolor Gold 400             | 39   | 43     | 51   |
| Fujicolor Super HR 1600        | 44   | 48     | 60   |
| Kodak Ektar 1000               | 52   | 58     | 63   |
| Konica Color SRV 3200          | 42   | 43     | 43   |

| Les FILMS INVERSIBLES (diapos), dev. non compris |      |        |      |
|--|------|--------|------|
| ➡ Prix relevés au 25/10/1989 ➡                   | Mini | NORMAL | Maxi |
| Agfachrome 50 RS-N                               | 36   | 40     | 60   |
| Fujichrome RFP 50                                | 37   | 38     | 54   |
| Ektachrome EPR 64                                | 49   | 50     | 55   |
| Agfachrome 100 RS-N                              | 40   | 43     | 57   |
| Fujichrome RDP 100                               | 40   | 42     | 57   |
| Ektachrome HC 100                                | 42   | 43     | 72   |
| Ektachrome EPN 100                               | 54   | 55     | 62   |
| Konica Chrome 100                                | 33   | 34     | 35   |
| Perutz Chrome 100                                | 34   | 34     | 35   |
| Agfachrome 200 RS-N                              | 47   | 49     | 63   |
| Ektachrome EPD 200                               | 57   | 58     | 65   |
| Ektachrome EPH 400                               | 62   | 63     | 64   |
| Fujichrome RHP 400                               | 56   | 60     | 72   |
| Agfachrome 1000 RS-N                             | 63   | 66     | 76   |
| Ektachrome EES 800/1600                          | 70   | 71     | 80   |
| Fujichrome RSP 1600                              | 61   | 66     | 70   |
| Scotch Chrome 800/3200                           | 67   | 68     | 75   |
| Ektachrome EPY 64 Tungstène                      | 49   | 51     | 54   |
| Ektachrome EPT 160 Tungstène                     | 55   | 58     | 60   |
| Scotch Chrome 640 Tungstène                      | 50   | 59     | 64   |

| Les FILM INVERSIBLES (diapos), développement compris |      |        |      |
|--|------|--------|------|
| ➡ Prix relevés au 25/10/1989 ➡                       | Mini | NORMAL | Maxi |
| Kodachrome KM 25                                     | 73   | 79     | 87   |
| Kodachrome Pro PKM 25                                | 86   | 89     | 89   |
| Kodachrome KR 64                                     | 73   | 80     | 96   |
| Kodachrome Pro PKR 64                                | 86   | 89     | 89   |
| Kodachrome KL 200                                    | 89   | 94     | 105  |
| Kodachrome Pro PKL 200 [les 5]                       | 490  | 505    | 595  |

| Les FILMS NEGATIFS noir & blanc |      |        |      |
|---------------------------------|------|--------|------|
| ➡ Prix relevés au 25/10/1989 ➡  | Mini | NORMAL | Maxi |
| Agfapan 25                      | 23   | 26     | 34   |
| Kodak Panatomic 32              | 28   | 28     | 29   |
| Ilford Pan-F 50                 | 25   | 28     | 30   |
| Agfapan 100                     | 23   | 26     | 36   |
| Ilford FP-4 125                 | 25   | 28     | 35   |
| Kodak Plus-X 125                | 28   | 28     | 29   |
| Kodak T-Max 100                 | 29   | 30     | 44   |
| Agfapan 400                     | 23   | 26     | 39   |
| Ilford HP-5 400                 | 26   | 28     | 35   |
| Ilford HP-5 Plus 400            | 28   | 29     | 35   |
| Kodak Tri-X 400                 | 28   | 28     | 29   |
| Kodak T-Max 400                 | 29   | 30     | 44   |
| Kodak T-Max HS                  | 40   | 41     | 45   |

Credit :Le Chasseur D'Images Décembre 1989 - N°118

Par exemple un pellicule de 36 poses Kodak Gold 100 coutait 35 Francs en 1989 soit **14 €** d'aujourd'hui, la même pellicule est actuellement vendue 32.90 € en pack de 3 chez Nation Photo à Paris en 2024, ce qui revient à **11 €** l'unité [23] donc cette pellicule est encore moins cher aujourd'hui.

Il faut comprendre que même si ce marché connaît un retour inespéré après que l'on ai prédit et constaté la mort de l'argentique après le passage au tout numérique dès les années 2000, celui ci ne s'adresse plus qu'à des passionnés de la photo traditionnelle. La photo argentique n'est donc plus l'immense marché de la photo qui touchait le grand public dans les années 70s / 80s / 90s, le smartphone est passé par là. Les industriels finiront par ajuster la production afin de mieux alimenter ce marché et nous pourrons alors bénéficier de prix plus attractifs permis par les économies d'échelle des couts de production.

## 23.5 Le smartphone peut il remplacer un appareil photo ?

Malheureusement non pas encore et ce pour diverse raisons.

1. Un smartphone produit essentiellement des photos en plan large du fait de la dimension très petite de la lentille avant
2. Certain smartphone haut de gamme comportent des petit téléobjectifs appelé zoom optiques, mais ceux ci sont un leurre car il s'agit en réalité d'un crop numérique. Les smartphones pas plus que les appareils photo classiques peuvent s'affranchir des lois de l'optique et une photo prise avec un 300mm ne pourra jamais être reproduite par un smartphone.
3. Le traitement d'image des smartphone est poussé à l'extrême, les photos son sursaturées ou contrastées à outrance car l'utilisateur n'est pas un photographe il ne fait pas attention à la lumière ni au cadrage, c'est le logiciel du smartphone qui doit ensuite corriger les défauts de la prise de vue. On trouve maintenant de l'IA pour retoucher drastiquement les photos (suppression d'éléments)

4. Les photos provenant d'un smartphone sont en général envoyées sur les réseaux sociaux où celles ci subiront une réduction très importante alors la qualité de l'image sera moins essentielle sur de petits écrans.
5. Les smartphones ne savent pas reproduire correctement les tons de peau, très souvent la peau est complètement lissée pour paraître plus jeune (effet plastique), de plus l'effet grand angle déforme les visages donc ils sont inadaptés à la photo de portrait.
6. Les bokeh (fonds flous) sont simulés par le smartphone car il n'y a pas suffisamment de focale pour les obtenir naturellement
7. Le mode portrait des smartphones est simulé, le logiciel tente alors de supprimer le fond pour le rendre flou en réalisant un détourage autour du sujet ce qui rend le résultat très peu naturel.



Credit : [Tony & Chelsea Northrup](#)

## 24 Achat

### 24.1 Achat d'objectif photo

Lorsque l'on achète un objectif d'occasion il faut vérifier les points suivants :

- Présence de champignons = “Fungus” à la surface des lentilles, un signe que l'objectif a séjourné longtemps à l'abri de la lumière en milieu confiné (non aéré et non soumis aux UV de la lumière naturelle)
- Présence de fines rayures (ou plus évidentes) à la surface des lentilles, signe que l'objectif a subi une abrasion ou peut être un petit choc
- Présence de trace de nettoyage à la surface des lentilles, signe que l'objectif a subi un nettoyage inapproprié
- Les rayures d'usage sur le fût de l'objectifs, signe normal selon l'âge de l'objectif
- Saleté et trace d'oxydation (rouille) en général, signe que l'objectif a subi les attaques de l'humidité
- Les lames du diaphragme ne doivent pas comporter de traces d'huile, si c'est le cas la fermeture du diaphragme sera ralentie
- La bague de mise au point = “Focus Ring” doit être souple mais trop et ne doit pas présenter de patinage = “Backlash”
- La bague d'ouverture doit bien marquer chaque ouverture en produisant un clique caractéristique et le diaphragme doit se fermer selon la valeur sélectionnée
- Lorsqu'on bouge manuellement l'ergo de l'ouverture le diaphragme doit répondre immédiatement sans retard

Choix d'objectif :

- Zoom lense : sport, family photo, travel photo
- Prime lense : wedding, art photo, street photo

## 24.2 Achat boîtier photo

Les appareils photo numériques peuvent se diviser grossièrement en 2 catégories :

Ceux avec moins de pixels sur les modèles full frame, ex : Canon EOS R6 II 24Mpix

- Meilleur autofocus (suivi humain, animaux)
- Meilleure rafale
- Meilleure plage dynamique

Ceux avec plus de pixels sur les modèles APSC, ex : Fujifilm XH-2 42Mpix

- Meilleure définition (possibilité de crop)
- Boîtier moins encombrant et moins lourd

Lorsque l'on achète un boîtier d'occasion il faut vérifier les points suivants :

- Les rayures d'usage sur les boîtiers
- L'état d'usage des grips
- Les boutons de sélection de des ISO et de la vitesse doivent permettre de sélectionner toutes les valeurs
- Le mécanisme de rembobinage (pour l'argentique) doit fonctionner normalement
- Le levier d'armement (pour l'argentique) doit permettre de déclencher ensuite même à vide
- Le viseur doit être clair
- Le Spotmètre doit réagir correctement à la lumière et indiquer une exposition exacte

| Price 2025 | Year | DXO | Nom          | Resolution | DNR stops | Sensor    | Read Speed | Pixel Size | Frate. M. | Frate. E. | S. Life | IBIS | EVF  | Proc              | Battery Life | Card A        | Card B       |
|------------|------|-----|--------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|---------|------|------|-------------------|--------------|---------------|--------------|
| 1300       | 2018 | 20  | Sony A7 III  | 24,3       | 14,7      | BSI       | 62,5       | 5,9        | 10        | 10        | 200K    | 5    | 2,36 | Bionz X           | 610          | SD            | SD           |
| 1655       | 2017 | 6   | Sony A7R III | 42,4       | 14,7      | BSI       | 30,0       | 4,5        | 10        | 10        | 500K    | 5,5  | 3,69 | Bionz X           | 530          | SD            | SD           |
| 1752       | 2022 |     | Canon R6 II  | 24,2       |           | BSI       | 14,0       | 6,0        | 12        | 40        | 300K    | 8    | 3,69 | DIGIC X           | 320          | SD            | SD           |
| 1904       | 2021 | 14  | Sony A7 IV   | 33         | 14,7      | BSI       | 26,8       | 5,1        | 10        | 10        | 200K    | 5,5  | 3,69 | Bionz XR x2       | 580          | CF Exp A      | SD           |
| 2027       | 2023 |     | Fuji XH-2S   | 26         |           | SS        | 9,7        | 3,8        | 15        | 40        | 500K    | 7    | 5,76 | X-Processor 5     | 580          | CF Exp B      | SD           |
| 2035       | 2024 |     | Nikon Z6 III | 24,5       | 13,5      | SS (half) | 14,4       | 5,9        | 14        | 20        | 200K    | 8    | 5,76 | Expeed 7          | 360          | CF Exp B      | SD           |
| 2043       | 2020 | 2   | Nikon Z7 II  | 45,7       | 14,7      | BSI       | 62,5       | 4,4        | 10        | 10        | 200K    | 5    | 3,69 | Expeed 6 x2       | 420          | CF Exp B, XQD | SD           |
| 2072       | 2023 |     | Fuji XH-2    | 40,2       | 13,5      | BSI       | 30,9       | 3,0        | 14        | 14        | 500K    | 7    | 5,76 | X-Processor 5     | 570          | CF Exp B      | SD           |
| 2175       | 2019 | 8   | Sony A7R IV  | 60,2       | 14,8      | BSI       | 100,0      | 3,8        | 10        | 10        | 500K    | 5,5  | 5,76 | Bionz X           | 670          | SD            | SD           |
| 2524       | 2020 |     | Canon R5     | 45         | 14,6      | BSI       | 15,5       | 4,4        | 20        | 20        | 500K    | 8    | 5,76 | DIGIC X           | 320          | CF Exp B      | SD           |
| 2633       | 2020 |     | Sony A7S III | 12         | 13,9      | BSI       | 20,9       | 8,4        | 10        | 10        | 500K    | 5    | 9,44 | Bionz XR          | 600          | CF Exp A      | SD           |
| 2793       | 2022 | 5   | Sony A7R V   | 60,2       | 14,8      | BSI       | 100,0      | 3,8        | 12        | 20        | 500K    | 8    | 9,44 | Bionz XR x2       | 440          | CF Exp A      | SD           |
| 3087       | 2023 | 9   | Nikon Z8     | 45,7       | 14,8      | SS        | 3,7        | 4,4        | 0         | 30        | 0K      | 6    | 3,69 | Expeed 7          | 340          | CF Exp B      | SD           |
| 4037       | 2021 | 10  | Nikon Z9     | 45,7       | 14,8      | SS        | 3,7        | 4,4        | 0         | 30        | 200K    | 5,5  | 3,69 | Expeed 7          | 700          | CF Exp B      | XQD          |
| 4143       | 2021 | 16  | Canon R3     | 24         | 14,7      | SS        | 5,5        | 6,0        | 12        | 30        | 500K    | 8    | 5,76 | DIGIC X           | 620          | CF Exp B      | SD           |
| 4600       | 2024 |     | Canon R5 II  | 45         | 13,6      | SS        | 6,3        | 4,4        | 12        | 30        | 500K    | 8,5  | 5,76 | DIGIC Accelerator | 340          | CF Exp B      | SD           |
| 4798       | 2021 | 11  | Sony A1      | 50,1       | 14,5      | SS        | 4,2        | 4,2        | 10        | 30        | 500K    | 5,5  | 9,44 | Bionz XR          | 420          | CF Exp A      | SD           |
| 4909       | 2024 |     | Sony A9 III  | 24,6       | 14,8      | SS        | 0,0        | 5,9        | 0         | 120       | 500K    | 5    | 9,44 | Bionz XR          | 400          | CF Exp B      | SD           |
| 6887       | 2024 |     | Canon R1     | 24,2       |           | SS        | 2,8        | 6,0        | 12        | 40        | 300K    | 8,5  | 9,44 | DIGIC Accelerator | 700          | CF Exp B      | CF Express B |
| 7500       | 2024 |     | Sony A1 II   | 50,1       | 14,5      | SS        | 4,2        | 4,2        | 10        | 30        | 500K    | 5,5  | 9,44 | Bionz XR x2       | 420          | CF Exp A      | CF Exp A     |

Credit : J.G. Gricourt

*Note : DXO = classement, Pixels = Total pixels on the sensor, SS = Stacked Sensor, Rate M. = Mechanical Shutter Frame Rate, Rate E. = Electronic Shutter Frame Rate, S. Life = Shutter Life, Proc = Imaging Processor(s), Battery = Battery Life in total pictures*

## 24.3 Achat objectifs

Lorsqu'on cherche les meilleurs objectifs pour une tâche donnée il faut bien penser à l'usage sur le terrain et en particulier :

- Il est toujours préférable de prendre des objectifs plus léger
- La qualité optique de l'objectif choisi doit dans la mesure du possible correspondre à la résolution du capteur et en

particulier avec des hybrides on préférera utiliser des objectifs optimisés pour les hybrides

- En photo de paysage on prendra plutôt un zoom dans la plage 15-35mm et une ouverture max de F/4, car on cherche à maximiser la profondeur de champ donc les objectifs ultra-lumineux sont inutiles
- En photo de portrait on prendra plutôt une focale fixe de 50 ou 85mm à ouverture de F/1.2 à F/2.8 maximum afin de flouter l'arrière plan pour mettre en valeur le sujet du portrait.
- En photo de rue on prendre une focal fixe légère de 35 à 50mm.
- En photo animalière on prendra un zoom à large plage, un 70-200mm ou un 100-400mm et une ouverture max de F/4, car la focale est suffisante pour créer le flou d'arrière plan pour mettre en valeur l'animal.

## 24.4 Avantage d'un boitier APSC

Il existe un type de boitier qui pourrait facilement s'adresser à des personnes débutantes ou en situation de handicap. Ce serait un boitier de type APSC à forte densité de pixels doté d'un capteur stabilisé.

- Boitier et objectifs moins lourds car ces derniers doivent fournir une image optiquement correctement pour un cercle image plus petit sur APSC
- Meilleure tolérance aux erreurs de cadrage en raison d'une meilleure définition permettant de croper l'image sans trop de perte de résolution
- Meilleure tolérance aux tremblements grâce à la stabilisation (IBIS)

## 24.5 Ressources

Une liste de Youtubers :

- [Dustin Abbott](#) : Testeur Numérique
- [the CameraVille](#) : Testeur Numérique
- [Kyle McDougall](#) : Testeur Argentique
- [EMGK - Baptiste](#) : Testeur Argentique
- [Chris Lee](#) : Testeur (Fujifilm)
- [Omar Gonzalez](#) : Mariage
- [Eric Gibaud](#) : Testeur
- [Matt Osborne](#) : Argentique
- [Ken Rockwell](#) : Testeur
- [Manny Ortiz](#) : Studio / Mode (Sony A1)
- [Sebastien Hirsh](#) : Street Photo
- [Guillaume W.](#) : Street Photo
- [Genario Bardy](#) : Street Photo (Sony)
- [Nicolas Doretti](#) : Street (Sony A7IV)
- [Phil Penman](#) : Street Photo (Leica)
- [Katelny James](#) : Mariage (Canon R6 II)
- [James Reader](#) : Mariage (Canon R5)
- [Irene Rudnyk](#) : Portrait (Canon R5)
- [Simon D'Entremont](#) : Wildlife (Canon R5)
- [Street Photo France](#) : Street

Comparaison photos matériel :

- [DPreview Studio Shot Comparison](#)
- [James Reader RAW File](#)
- [Camera Size](#)

- [Camera Decision](#)
- [Photons To Photos](#)
- [Lense Review](#)
- [Imaging Resource Cameras Review](#)
- [DXO Mark](#)

Une liste de photographe de paysages :

- [Damian Shields](#) - Scotland (Nikon D800)
- [Andy Mumford](#) - UK (Fujifilm)
- [Ian Worth](#) - UK (Fujifilm)
- [Alex Armitage](#) - UK (Canon R5)
- [Kemper Simpich](#) - US (Sony)
- [Michael Shainblum](#) - US (Sony)

Leçons “Editing” :

- [Is PhotoLab 8 REALLY Better Than Everything Else?](#) - DXO Photolab 8
- [My Favorite Lightroom Tips EVERYONE Should Know!](#) - Lightroom
- [5 Wedding Photography Editing NIGHTMARES \(And how to fix them\)](#) - Lightroom
- [James Reader RAW files](#) - Canon
- [Free Lightroom reset](#) - Lightroom

## Références

- [1] [Vision des couleurs, synthèses additive et soustractive](#), 123 couleurs
- [2] [La vision des couleurs](#), 123 couleurs
- [3] [The 'Sunny 16' rule or how-to expose with no meter](#), Aaron Gold - 19/03/2021
- [4] [Améliorer facilement la qualité de l'image dans Lightroom](#), Adobe Lightroom - 8/06/2021
- [5] [What is a Cine Lens and How is it Different from a Photo Lens?](#), Adorama - 14/04/2022
- [6] [Le cercle de confusion](#), Alain Lariviere - 11/2011
- [7] [Everything you need to know about ECN-2 film](#), Albert Roig - 2022
- [8] [Photographer Finally Admits: 'Honestly, I'm Just Taking Pictures'](#), Alex Cooke - 26/12/2023
- [9] [Exposer sans mesure: la règle du F/16 ou « Sunny 16 »](#), Alexis
- [10] [La chimie du développement argentique, comment ça marche ?](#), Alexis
- [11] [La mesure d'exposition en photographie](#), Alexis
- [12] [What is Dual Base ISO?](#), Alister Chapman - 7/05/2021
- [13] [Full Frame to Fuji - 6 Years Later As A Landscape Photographer](#), Andy Mumford - 02/01/2022
- [14] [Nikon AIS, AI and non AI/AIS lens comparison](#), Andrew Dee - 12/11/2020
- [15] [Iridient X-Transformer](#), Anthony Thurston - 10/01/2017
- [16] [Les bases de la photographie - Le triangle d'exposition](#), Sébastien
- [17] [What is Gamma?](#), BenQ Color Technology Lab - 22/06/2023
- [18] [Doit-on toujours exposer avec +1.33 ? Est-ce toujours +1.33 ?](#), David Pons (ArtStudio) - 10/02/2020
- [19] [Exposition optimisée +1.33, c'est quoi ? Et pourquoi 1.33 ?](#), David Pons (ArtStudio) - 10/02/2020
- [20] [The Consequences of Noise](#), Baptiste Plichon (EMGK)
- [21] [Harman Phoenix - Le Vrai Test](#), Baptiste Plichon (EMGK) - 22/01/2024
- [22] [Fuji X100F - The Leaf Shutter Does Very Cool Stuff](#), Booray Perry - 7/02/2019
- [23] [Convertisseur Inflation](#), Boursorama
- [24] [Do Not Pay a Premium for AIS versus AI Nikkor Lenses](#), Brian - 01/08/2019
- [25] [Black-and-white films](#), Britannica
- [26] [How can I tell if my film is over/underdeveloped?](#), Brllf - StackExchange - 29/10/2012
- [27] [L'histoire d'une marque iconique : Yashica](#), Bromurefilm
- [28] [Sharpness](#), Cambridge In Colors
- [29] [Digital Camera Image Noise - PART 1](#), Cambridge In Colour
- [30] [Understanding Gamma Correction](#), Cambridge In Colour
- [31] [Cameras Vs. The Human Eye](#), Cambridge In Colour
- [32] [Objectif AI / AIS ?](#), Carine Sarrailh
- [33] [Read Noise and Dynamic Range for a Newbie](#), chadrian84 - 21/05/2019
- [34] [Photography cheat sheet: flashgun synchronization modes explained](#), Chris George - 5/02/2022
- [35] [Comparaison des CANON 40D, 50D, 5D ET 5D Mark II](#), Christian Build
- [36] [Les écarts de la loi de réciprocité](#), Claude Bouchot
- [37] [Pousser ou retenir une pellicule, ça veut dire quoi ?](#), Clic Argentique
- [38] [Debayering Demystified](#), Craig Stark - 09/2006
- [39] [N&B, C41, E6, quel procédé pour développer ses pellicules ?](#), Damien Trolard - 2023
- [40] [Lutter contre le syndrome d'acquisition de matériel](#), Damien Roue - Phototrend - 2023
- [41] [How to find the best ISO for Astrophotography](#), Dan Bridges - 2017
- [42] [ISO on Sony cameras is often INCREDIBLY misunderstood](#), Dan Fox - 29/04/2022

- [43] [ISO Invariance](#), Dan Zafra - 19/08/2022
- [44] [Exposure Triangle](#), Dan Zafra - 17/07/2020
- [45] [Tous les modes de simulation de film Fujifilm sont disponibles sur darktable](#), DarkTable - 13/01/2018
- [46] [Do Megapixels Matter When Converting Negatives With A Digital Camera](#), Darryl Carey - 26/04/2021
- [47] [What's the story with Fujifilm's X-Trans sensor tech?](#), Dave Etchells - 20/04/2020
- [48] [Never say 'zoom with your feet'...](#), David Kilpatrick - 16/04/2017
- [49] [The Myth of the 18% Light Meter Calibration](#), David R. Spielman - 05/2001
- [50] [Derek K. Miller \(1969-2011\)](#), Derek K. Miller - 13/08/2008
- [51] [Why do negatives need an orange mask?](#) , Donl Mathis - Photo.net - 1994
- [52] [Why lower resolution sensors ARE NOT better in low light](#), DPReview - 2021
- [53] [Noise, Dynamic Range and Bit Depth in Digital SLRs](#), Emil Martinec - 22/05/2008
- [54] [The Consequences of Noise](#), Emil Martinec - 11/01/2010
- [55] [L'ERREUR que font beaucoup de photographes: La Faible Profondeur de Champ](#), Eric Gibeaud - 9/12/2023
- [56] [Optimizing Exposure](#), Erin Quigley
- [57] [Le ZONE SYSTEM expliqué en 10 MINUTES](#), Fabrizio Dei Tos - 2021
- [58] [Filmmaker IQ Courses : The Science of Exposure and Metering](#), FISCourses
- [59] [Filmmaker IQ Courses : Diving into Dynamic Range](#), FISCourses
- [60] [Photography Essentials: The Sunny 16 Rule](#), Fotoslammo - 2013
- [61] [La photosensibilité des halogénures d'argent](#), Chim Luxembourg
- [62] [Rappel sur la colorimétrie des films](#), Françoise Duclos - Kodak - 11/1999
- [63] [The Advantage of APS-C over Full Frame ...](#), FujiRumors
- [64] [Why a Larger Sensor Delivers Better Images](#), Fujifilm
- [65] [Which Metering Mode Should You Choose?](#), Fujifilm
- [66] [The Advantage of APS-C over Full Frame](#), Fuji Rumors
- [67] [Les techniques redoutablement efficaces De @Genaro Bardy en Photo De Rue](#), Guillaume W - 01/10/2024
- [68] [7 Techniques pour S'Approcher en Photo de Rue](#), Genaro Bardy - 2023
- [69] [Garry Winogrand : L'inarrêtable](#), Genaro Bardy - 10/2024
- [70] [8, 12, 14 vs 16-Bit Depth: What Do You Really Need?](#), Greg Benz - 19/09/2018
- [71] [Monter en ISO pour réduire le bruit](#), Harry Collis
- [72] [Comment développer une pellicule dans une chambre noire](#), Heather Gallagher
- [73] [Overexposure, underdevelopment - technique](#), Helinophoto - 19/04/2011
- [74] [Mon appareil photo a-t-il un capteur à ISO invariant ? Comment savoir ? Qu'est ce que ça implique ?](#), Hugo Fortier - 2019
- [75] [How Street Photographers Are INVISIBLE](#), Hunter Creates Things - 01/06/2024
- [76] [How to Find the Best ISO for Astrophotography: Dynamic Range and Noise](#), Ian Norman
- [77] [Milky Way Exposure Calculator](#), Ian Norman - 3/04/2014
- [78] [Canon Full Frame vs Fujifilm APS-C for Landscape Photography – Long Live DxO Pure RAW](#), Ian Worth - 21/04/2023
- [79] [Flash HSS/Auto FP made easy](#), Imagen Estilo - 2022
- [80] [What Is Dynamic Range in Photography?](#), Jason Polak - 27/04/2022
- [81] [L.A.'s most popular street photographer?](#), Jeremy Paige - 2024
- [82] [Canon R5 VS R6ii Review: Worth it in 2024?](#), Joel Varughese - 02/2024
- [83] [What is middle grey and why does it even matter?](#), John Aldred - 5/04/2018
- [84] [X-Trans vs Bayer Sensors: Fantastic Claims and How to Test Them](#), Jonathan Moore - 3/03/2017
- [85] [Why and How Fuji Cameras Produce a Strange Purple Flare/Grid Artifact](#), Jonathan Moore Liles - 23/02/2017

- [86] [Why does CMOS read and quantisation noise \\*decrease\\* with gain?](#), Jon Rista - 29/12/2016
- [87] [Dual Base ISO and Shot Noise](#), Keith Mullin
- [88] [Mastering the Exposure Triangle](#), Kelsey Smith - 01/04/2024
- [89] [Nikon D780 Full Review by Ken Rockwell](#), Ken Rockwell - 2020
- [90] [Nikon Z6 II](#), Ken Rockwell - 2019
- [91] [Technical Information Bulletins](#), Kodak
- [92] [Analyse des couleurs, parlons clair](#), Konica Minolta - 2022
- [93] [Top 5 Reasons Your Film Photos Look Bad or Underwhelming](#), Kyle Mc Dougall - 11/2023
- [94] [Le moyen format et son équivalent en 35mm](#), Laurent Dufour - 18/03/2023
- [95] [The Exposure Donut concept \(EXPODO\)](#), Leica Rumors - 18/03/2023
- [96] [Retour sur 10 boîtiers mythiques de la gamme d'appareils Nikon](#), La Mag Nikon - 15/11/2016
- [97] [L'autofocus](#), Lionel Gérard Colbère - 12/01/2016
- [98] [Les tableaux des caractéristiques des appareils photo](#), Lionel
- [99] [Full frame vs Crop Sensor- Has anything changed in 2023?](#), Manny Ortiz - 2023
- [100] [The POWER of Off Camera Flash Photography \(vs using available light\)](#), Manny Ortiz - 2024
- [101] [The POWER of Off Camera Flash Photography \(vs using available light\) Pt 2](#), Manny Ortiz - 2024
- [102] [Why Darktable is perfect for Fujifilm users.](#), Mark G. Adams - One Camera For One Lense - 12/01/2021
- [103] [Fuji X-Trans RAW Processing: LR 5.4 vs. Iridient Developer](#), Mark Soon - 21/04/2014
- [104] [X-Trans and Wormies — A Theory](#), Mark Wiczorek - 12/06/2018
- [105] [Do Sensors Out Resolve Lenses?](#), Michael Reichmann - Luminous Landscape - 9/072011
- [106] [Pourquoi je ne veux pas d'un appareil photo hybride ?](#), Mickaël Bonnanmi - 2021
- [107] [ANCIENT Nikon Still Takes Incredible Photos \(Nikon D700\) | MPB](#), MPB - 11/2024
- [108] [Fundamentals of Film Exposure](#), Mortimer Abramowitz - 11/09/2018
- [109] [Formula to determine perceived brightness of RGB color](#), Mydex - 20/06/2019
- [110] [Solving Image Issues](#), Negative Lab Pro - 2020
- [111] [Le problème de la Photo de Rue au FLASH](#), Nicolas Dorette - 27/11/2023
- [112] [Fundamentals of Film Exposure](#), C.J Odenbach - 1/05/2021
- [113] [The Full Frame Cult Is Getting Tiring](#), Ondřej Vachek01 - 22/09/2023
- [114] [Fujifilm Cameras: How to Avoid Bad Photos](#), Pal2Tech - 16/02/2024
- [115] [Understanding Fujifilm 422 and 420 Mystery](#), Pal2Tech - 1/01/2025
- [116] [Artspeak. The Bullshit Language of Art](#), Pascal Unbehaun - 2021
- [117] [Loi de réciprocité – effet Schwarzschild](#), Patrick Louiche
- [118] [Comment fonctionne la technologie Dual Pixel AF ?](#), Paul Nicoué - 28/02/2017
- [119] [Radiometry and photometry in astronomy](#), Paul Schlyters Hemsida - 2/01/2023
- [120] [What did Nikon change in going from Ai to Ai-s?](#), Pekka Buttler - 01/2024
- [121] [Kodak & Fuji, une histoire de la photographie](#), PentaxKlub (Valia) - 11/05/2016
- [122] [Comment corriger son exposition en photo dans les modes Auto](#), Phil Body
- [123] [Tirer un négatif sur papier photo pas à pas](#), Pierre Francois - 23/07/2007
- [124] [Gamma correction](#), Pixelsham - 01/04/2018
- [125] [Bruce Gilden](#), Polka - 2020
- [126] [Effet de banding avec le Nikon Z8 et Z9](#), PUSHaUNE - 02/08/2023
- [127] [Advantages and disadvantages of high speed sync](#), Rajib Mukherjee - 2022
- [128] [Raw bit depth is about dynamic range, not the number of colors you get to capture](#), Richard Butler - 01/09/2017
- [129] [Sources of camera noise part two: Electronic Noise](#), Richard Butler, Rishi Sanyal - 13/05/2015

- [130] [Notes on the Resolution and Other Details of the Human Eye](#), Roger N. Clark - 28/12/2018
- [131] [Exposing to the Right Explained](#), Sébastien Hirsch Cox - 21/10/2024
- [132] [Color Theory that Photographers Need to Know](#), Sean Dalton - 29/11/2024
- [133] [How many MEGAPIXELS is too many?](#), Simon D'Entremont - 9/2023
- [134] [Exposing to the Right Explained](#), Spencer Cox - 10/09/2022
- [135] [L'album de Steph - Indice de Lumination](#), Stéphane Poirier
- [136] [La vérité choquante sur l'ETTR : il est temps de l'abandonner et de faire CECI à la place](#), Steve Perry - 3/02/2025
- [137] [Phase vs Contrast Autofocus Systems on Cameras](#), Sunny Shrestha - 2019
- [138] [How to Evaluate Camera Sensitivity](#), Teledyne Flir - 17/03/2021
- [139] [Performances d'imagerie](#), Teledyne Flir
- [140] [We Need To Talk About Sharpness In Photography](#), The Photographic Eye - 2021
- [141] [Portra 400 – 3 raisons d'être ma pellicule couleur préférée](#), Thomas Domise - 3/03/2021
- [142] [Retenir ou pousser une pellicule](#), Thomas Domise - 2023
- [143] [Using "Enhance" in Lightroom for Fuji Users – Answers to the most common questions](#), Thomas Fisztgerald - 1/04/2022
- [144] [Understanding Color Negatives...Part I](#), Tom Webster
- [145] [High ISO does NOT cause NOISE! \(but f/Stop & Shutter do!\)](#), Tony Northrup - 26/04/2020
- [146] [The TRUTH about High Megapixel Noise](#), Tony Northrup - 07/01/2023
- [147] [0mm IS NOT "NORMAL"!! I can prove it.](#), Tony Northrup - 2023
- [148] [ISO Chart: Everything You Need to Know About ISO](#), Vinci Palad - 2021
- [149] [La gestion des couleurs](#), Typocentre - 2022
- [150] [Comment marche une pellicule argentique ? L'étonnante chimie des pellicules](#), Victor Michaud - 2022
- [151] [Camera Math of photography settings and EV](#), Wayne Fulton - 2014
- [152] [Gamma Vs. Linear Workflow](#), Will Gibbons - 24/01/2022
- [153] [La couleur sur pellicule](#), Ykretz - 28/05/2020