

Introduction à la dynamique de son capteur d'APN

Table des matières

1	INTRODUCTION	2
1.1	QU'EST QU'UN CAPTEUR ?	2
1.2	QU'EST CE QUE LA DYNAMIQUE D'UN CAPTEUR ?	3
1.3	QU'EST CE QUE DYNAMIQUE D'UN CAPTEUR PHOTO ?	4
1.4	ECHELLE DES DYNAMIQUES DE NOS IMAGES	6
1.5	2 CAS DE FIGURE D'UN CAPTEUR QUI SAISIE UNE SCENE :	7
1.6	POURQUOI MESURER LA DYNAMIQUE DE SON CAPTEUR ?	8
2	MESURE DE LA DYNAMIQUE D'UN CAPTEUR	10
2.1	CALCULS COMPLIQUES ;-)	11
2.2	EXERCICE DE MESURE EN JPEG AVEC LE NIKON P7700	12
2.3	MESURE AVEC LE NIKON D700	14
3	UTILISATION DE LA DYNAMIQUE DE SON CAPTEUR : PHOTOS HDR	15
3.1	PRISE DE VUE NUMERIQUE.	15
3.2	BRACKETING	16
4	DYNAMIQUE ET ISO, PAS BON MENAGE !	17
	ET EN ARGENTIQUE ?	18
5	LIMITES DU CAPTEUR	19
5.1	PROBLEME LIE AUX FORTES DYNAMIQUES : LA PROFONDEUR DE L'IMAGE.	19
5.2	LES DIFFERENTES LIMITES D'UN CAPTEUR NUMERIQUE	20
6	CONCLUSION : ON FAIT TOUS DU HDR	22

1 Introduction

1.1 Qu'est qu'un capteur ?

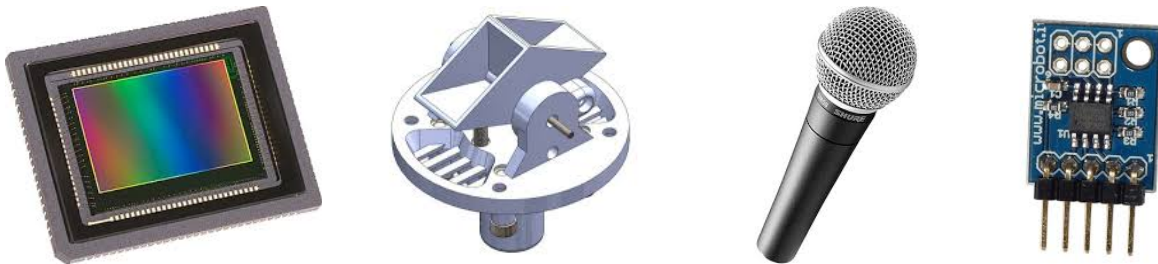
Capteur : dispositif qui permet de changer d'unité une grandeur physique.

- Le thermomètre permet de transformer des °C en mm.
- La pellicule permet de transformer une lumière en densité chimique.



Un capteur numérique permet de transformer une grandeur physique en données informatiques (des octets donc).

- le capteur de température permet de transformer des °C en octets.
- Le capteur d'image permet de transformer une lumière en octets.



1.2 Qu'est ce que la dynamique d'un capteur ?

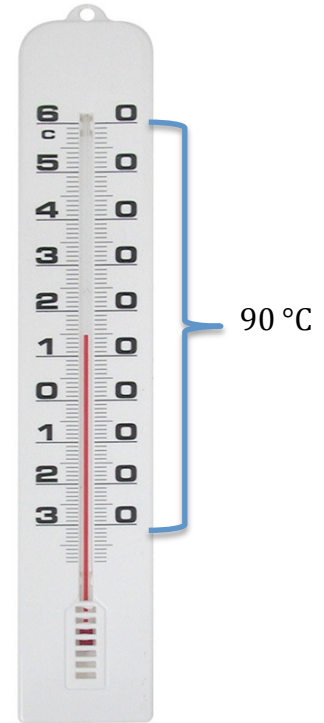
1^{er} cas : Grandeur physique **linéaire** (température, distance, ...):

dynamique d'un capteur = maximum - minimum

Le thermomètre ci-contre a donc une dynamique de 90 °C.

2nd cas : Grandeur physique **non linéaire** (son, lumière, ...):

dynamique d'un capteur = $\frac{\text{maximum}}{\text{minimum}}$



1.3 Qu'est ce que dynamique d'un capteur photo ?

En photo la dynamique est le rapport entre le maximum et le minimum de lumière **que le capteur peut saisir dans la scène à photographier** (puisque l'on peut changer la quantité de lumière qui rentre avec le diaphragme et le temps d'exposition)

→ L'unité de la lumière en photo est l'**IL** (indice de luminescence). **EV** en anglais

Il va de 0 à 20 environ avec :

- 3 IL → ☾ (nuit ou pièce très faiblement éclairée)

- 16 IL → ☀ (plein soleil avec des ombres dures).

+ 1 IL → x 2 en quantité de lumière, et donc -1IL → /2 en quantité de lumière

(donc 10IL correspondent à un rapport 1024 et 20 IL à un rapport de 1 million environ).

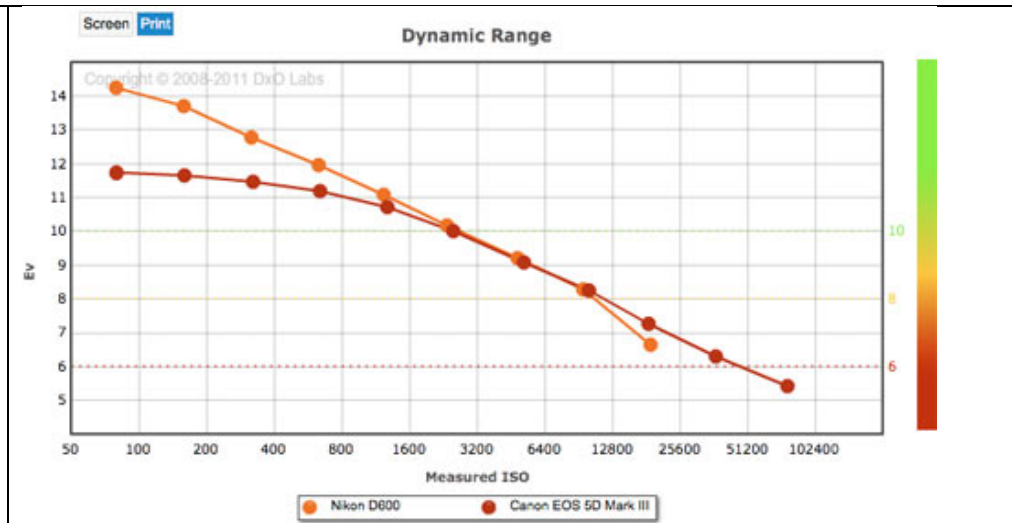
Nous voilà en dB avec 1 IL = 6DB (tableau de Asher Brown Durand).



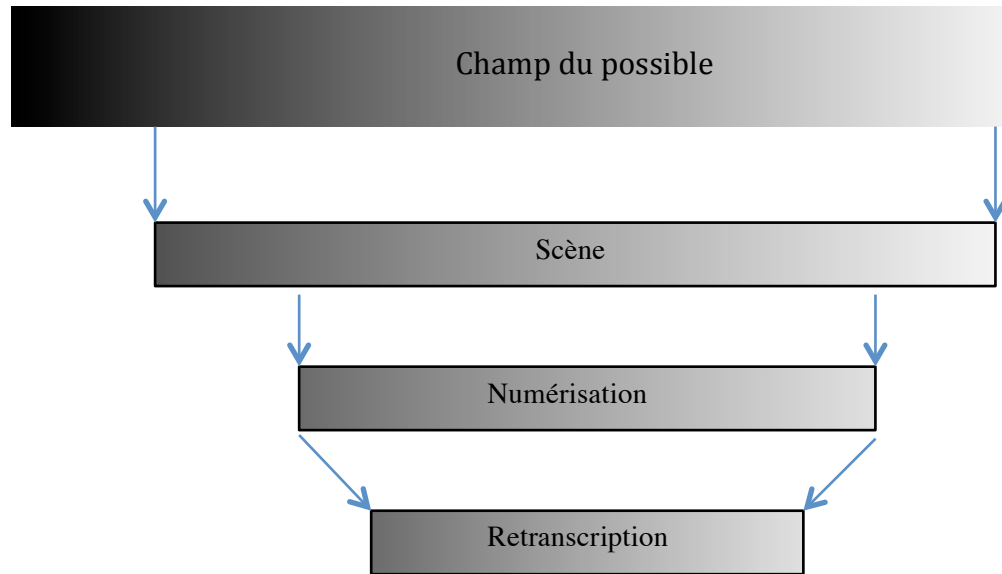
... l'œil humain pourrait percevoir des images avec un contraste de 24 IL (trouvé sur internet mais j'émets des doutes !).

Note : la dynamique du capteur numérique est indépendante de sa sensibilité. Que l'on travaille à 100 ISO, 400 ISO ou 1600 ISO, sa dynamique sera la même. Par contre, sa **dynamique exploitable** sera moindre du fait du gain qui est augmenté...
...on en parle plus bas !

(source DxO)



1.4 Echelle des dynamiques de nos images



Plage dynamique absolu dans la nature : échelle semi ouverte : il y a un minimum (noir absolu) mais pas de maximum : ∞

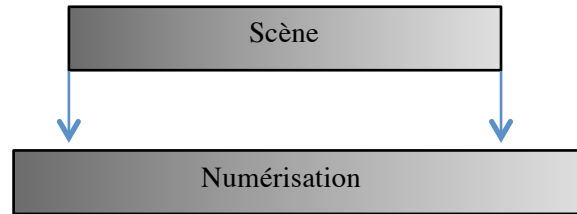
Une scène réelle comporte une partie de cette plage infinie :
Plage dynamique dans la scène à *reproduire* : échelle fermée, entre 3 à 20 IL environ

Le capteur peut capter un échantillon de la plage à capter : Plage dynamique du capteur numérique : électronique (8 à 13 IL), et exploitable (5 à 10 IL)

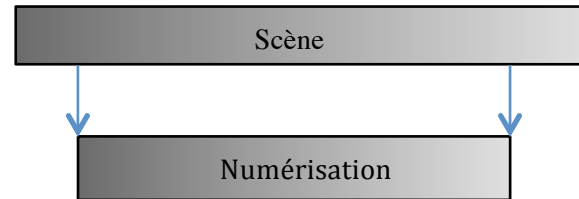
Mise à l'échelle de la plage lue pour la faire rentrer dans la plage de représentation (papier, écran) : passage de 5 à 10 IL (et plus pour les images HDR) à une image de 5 IL environ (papier, écran)

Note : On pourrait souhaiter que la scène retransmise s'approche de la scène réelle visualisée. Il n'en est rien, car le capteur n'a pas la dynamique suffisante, le support de retransmission non plus. Et quand bien même, ce ne serait pas forcément agréable à l'œil.

1.5 2 Cas de figure d'un capteur qui saisie une scène :



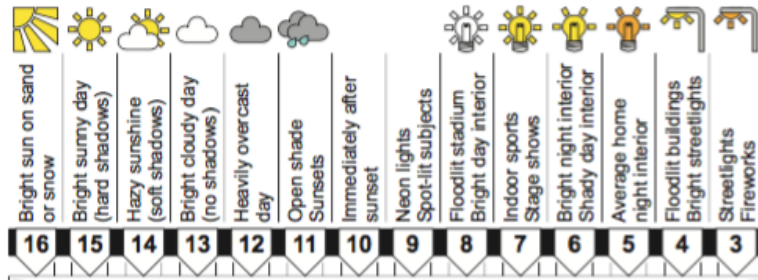
Soit le capteur peut prendre toutes les nuances de la scène à photographier.
C'est ce qu'on aimerai.



Soit le capteur ne peut pas prendre toutes les nuances de la scène à photographier.

L'image est alors « bouchée » ou « cramée »
... ou les deux.

1.6 Pourquoi mesurer la dynamique de son capteur ?



Bien sur, tout le monde connaît cette charte par cœur ;-).
Donc, en arrivant dans un lieu pour faire des photos, on sait tout de suite de quelle dynamique on aura besoin.

Sinon, il y a le posemètre...



Connaître la dynamique de son capteur permet de savoir si oui ou non, la scène à photographier peut être photographiée.

Sur cette photo ci-contre, le ciel est « cramé » alors qu'il contient des nuages gris, et l'intérieur de la pièce est « bouchée ». L'arbre est bien exposé.

Il faut **augmenter la dynamique de son image**.

Avec les appareils numériques, deux méthodes :

- en utilisant le **bracketing**, ce qui oblige à prendre plusieurs photos,
- en connaissant et **exploitant la dynamique** de son capteur.

Les deux méthodes ne sont pas équivalentes, par exemple il n'est pas toujours possible de prendre plusieurs images.

Par contre, elles sont cumulatives : on peut utiliser le bracketing ET exploiter la dynamique de son capteur.



Je peux mesurer la lumière la plus forte et la plus faible avec mon posemètre. Sur cette scène :

- ciel : 12 IL (ce qui correspond à un ciel chargé... comme par hasard)
- coins sombres de la pièce : 3 IL... tient donc !

La différence est donc de 9IL, ce qui fait un rapport 512 entre le maximum de lumière et le minimum de lumière.

Mais comment savoir si mon appareil peut faire une photo avec une dynamique de 9 IL ?

Je regarde sur internet, et je trouve un peu n'importe quoi, voir rien du tout.

Et puis, la dynamique du capteur n'est pas forcément la dynamique exploitable réellement, à cause du bruit en particulier (notion de rapport signal/bruit).



2 Mesure de la dynamique d'un capteur

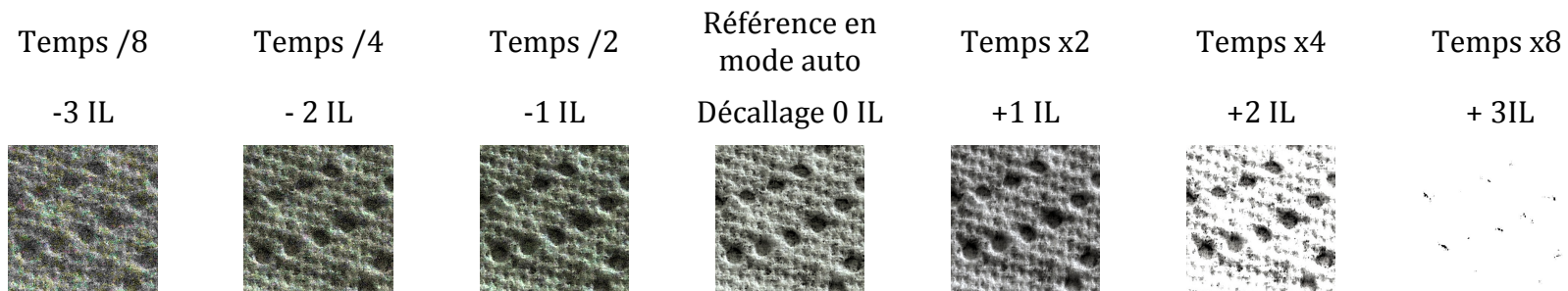
Méthode : Il suffit « juste » de prendre toujours la même photo en faisant varier l'exposition d'un maximum à l'autre. Entre « bouché » et « cramé »... c'est la dynamique du capteur

Note : Ces valeurs sont subjectives, en fonction du besoin, et du goût de chacun. La dynamique en IL est le nombre de fois qu'on a un rapport 2 entre les temps d'exposition min et max.

Attention :

- travail en mode manuel. Comme le réglage avec le plus d'amplitude est le temps, nous allons donc fixer l'ouverture et les ISO. Nous changerons le temps pour faire varier l'exposition.
- luminosité constante de la scène de référence. Si la luminosité extérieure est appelée à changer pendant la manip (passage de nuages par exemple), préférer une lumière artificielle constante.
- Il faut utiliser une scène avec le moins de contraste possible, juste assez pour voir les détails. Une feuille d'essuie-tout présente cette caractéristique et ne coute pas cher !

Bien sur cette méthode manque de rigueur technique, mais elle a l'avantage de pouvoir être faire n'importe quand, n'importe où, par n'importe qui, et sans matériel autre qu'une feuille de sopalin...



2.1 Calculs compliqués ;-)

La formule pour convertir un rapport Max / Min en nombre de IL :

$$D = \frac{\ln(r)}{\ln(2)}$$

avec :

r = le rapport max / min,

D la dynamique exprimée en IL (EV en anglais)

Dans l'autre sens c'est plus simple :

$$r = 2^D$$

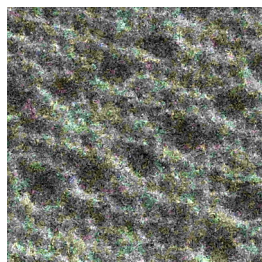
2.2 Exercice de mesure en JPeG avec le Nikon P7700

Petit capteur → résultat assez faible.

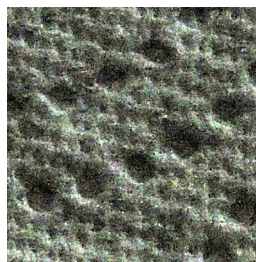
Réglage : M 100 ISO et F:4. / JPeG.

Il faut ramener toutes les images à la même valeur pour pouvoir les « lire ». Pour ça, « optimisation automatique » suffit amplement. Il s'agit d'extrait de l'image, donc la qualité est forcément très mauvaise.

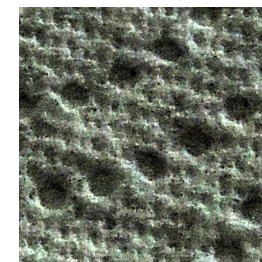
Tons sombres :



1/400

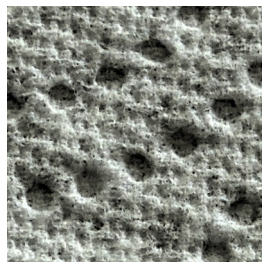


1/200 s



1/100 s

Mesure du « gris neutre » à 18%,
c'est à dire au milieu de la plage.



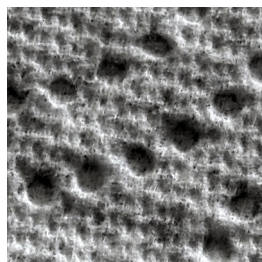
1/10 s



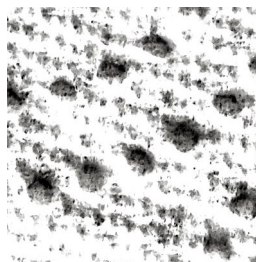
(référence non retouchée)

Une exposition automatique de
l'image en mode A donne F:4, 400
ISO : 1/10 seconde

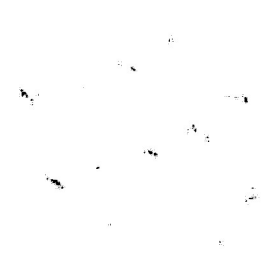
Tons clairs :



1/4 s



1/2 s



1 seconde

Pour la lecture, on cherche :

- Dans les images sombres, les zones claires pas encore bouchées (ou bruitées selon le cas). Ici, l'image au 1/200 s est très convenable.
- Dans les images claires, les zones sombres pas encore cramées. Ici, l'image au 1/4 s est très convenable.

Sur cette scène en particulier, je peux raisonnablement utiliser mon capteur entre 1/200s et 1/4s, ce qui fait un rapport 50. J'applique la formule citée plus haut et j'obtiens :

$$D = 5,6 \text{ IL}$$

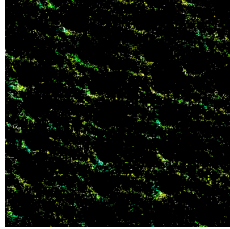
La dynamique de mon capteur, utilisée sans le pousser dans ses retranchements, peut être exploitée sur 5,6 IL à 100 ISO.

Cette mesure est assez subjective, en fonction de nos besoins on pourrait considérer la dynamique acceptable entre 1/400s et 1/2 seconde et la dynamique serait alors 7,6 IL.

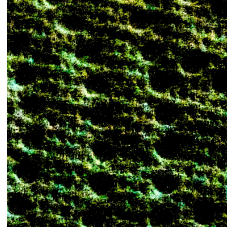
A noter que l'on trouve en cherchant sur internet une dynamique d'environ 8 à 10 IL... à condition d'accepter le bruit dans les ombres ! J'en reparle plus bas.

2.3 Mesure avec le Nikon D700

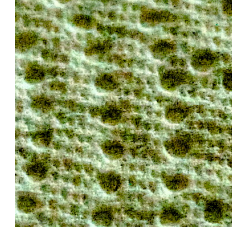
Tons sombres :



1/1600 s

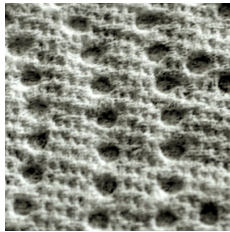


1/1000



1/500

Mesure du « gris neutre » à 18%,
c'est à dire au milieu de la plage.



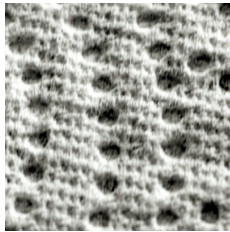
1/10 s



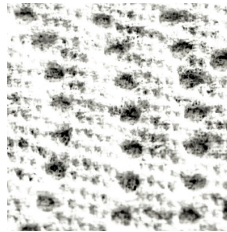
(référence)

Une exposition automatique de
l'image en mode A donne F:4, 400
ISO : 1/10 seconde

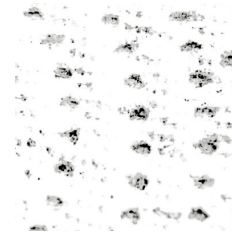
Tons clairs :



1/5 s



1/3 s



1/2

La dynamique raisonnable est d'environ 8IL à 400 ISO.

Si les zones sombres sont peu nombreuses, ou les zones claires peu nombreuses, ou pourra considérer la dynamique double c'est à dire 9IL. On est loin des 12 IL annoncés dans les spécifications du capteur... et pour cause :

Note : 9 IL est une dynamique exploitable, 12 IL le rapport entre le maximum et le minimum absolu que le capteur peut saisir. Ça ne tient pas compte des autres limites du capteur, en particulier le bruit dans les zones sombres. A la rigueur, sur une même scène, si les zones extrêmes sont petites, on peut s'en approcher.

3 Utilisation de la dynamique de son capteur : Photos HDR

3.1 Prise de vue numérique.

La première chose à savoir est : Sur les images à fort contraste, sauf certains effets voulus (high keys) les zones cramées sont moins acceptables que les zones bouchées. Nous allons donc « caller » nos photos sur les zones claires. Le posemètre se cale forcément sur « gris moyen » c'est à dire au milieu de sa plage dynamique. Sur le D700, j'ai à peu près un rapport 5 entre le max et le point de mesure.

- je fais une mesure sur le ciel dans le mode que je préfère (par exemple mode A).
- Je sous expose de 5 IL. Ce n'est probablement pas un hasard si le D700 peut sous exposer de 5 IL, et le P7700 de 3 IL... Il est aussi possible de faire ses photos en mode manuel.
- Je cliquette sur le déclencheur.

Avec mon posemètre préféré, je mesure le ciel (point 2) à 12IL, les coins sombres (point 3) à 3 IL. La dynamique nécessaire est donc 9 IL.

- On voit les nuages dans le ciel
- On voit bien l'intérieur de la pièce.
- Le reflet de l'ampoule (point 1) est difficile à mesurer, mais on accepte une saturation du capteur sur cette petite zone.
- Les zones bouchées (par exemple zone 4) restent suffisamment petites pour que l'ambiance de la scène ressorte bien.

Il est bien sur possible de s'attarder davantage dans mon logiciel préféré pour faire ressortir telle ou telle partie de la photo. Le bruit reste contenu.

Il est aussi sur possible de se caller sur la zone sombre de l'image si les zones cramées sont préférables aux zones bouchées.



Et si on augmentait encore la dynamique ?

3.2 Bracketing

Grace au bracketing, il est possible de dépasser la dynamique affichée de son capteur sur une même image. En gros, il faut veiller à ce que l'écart entre les images ne dépasse pas $\frac{1}{2}$ de la dynamique de son capteur, voir moins.

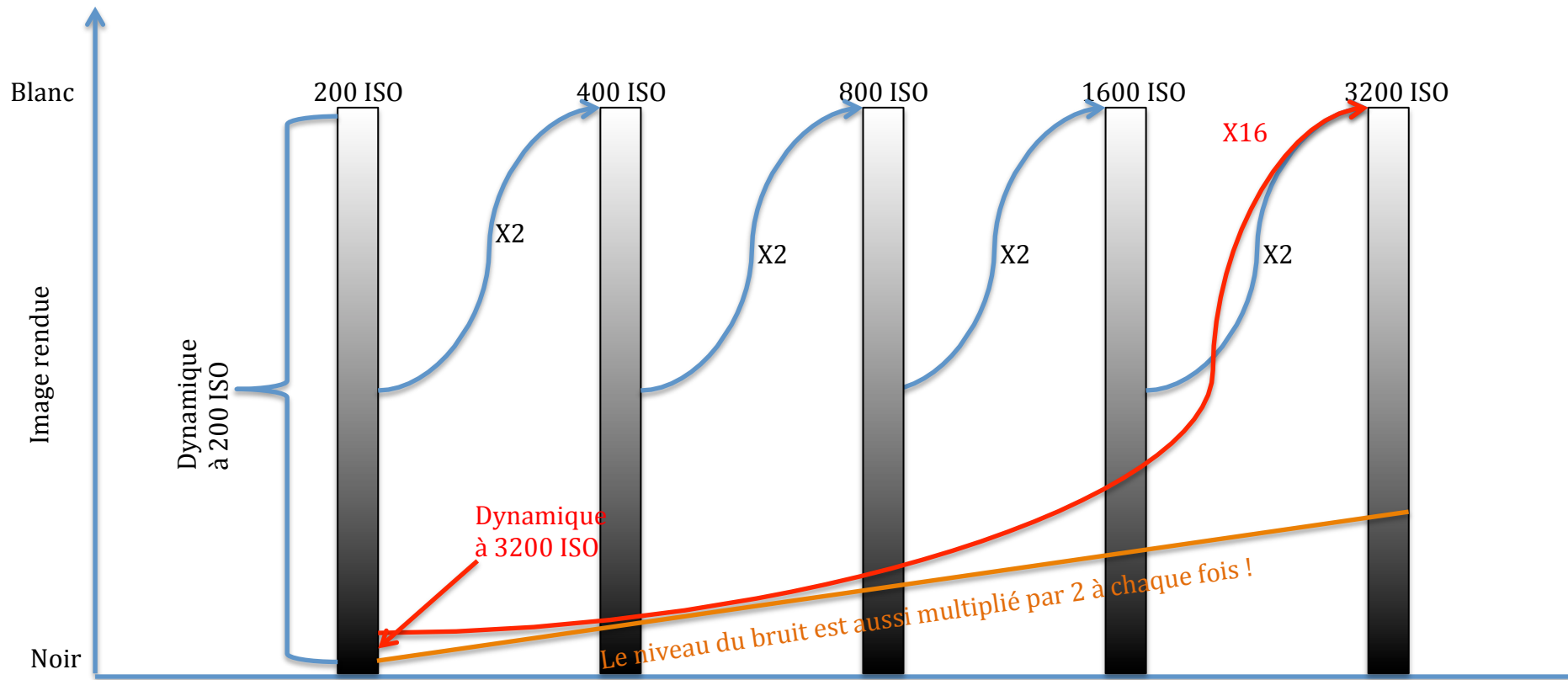
Sur le D700, je peux prendre 9 images séparées de 1IL chacune, ce qui m'autorise une dynamique sur une prise de vue d'environ 17 IL... de quoi voir venir (en gros je fais 8 + 9).

Il faut ensuite un logiciel dédié pour réassembler les images. Certains appareils proposent cette fonctionnalité en interne.



4 Dynamique et ISO, pas bon ménage !

Les ISO, c'est ni plus ni moins qu'une amplification du signal électrique qui sort du capteur. Donc, on amplifie tout... même le bruit. On notera que le noir reste le noir, et on amplifie la lumière qui rentre. A chaque fois qu'on amplifie par 2, la dynamique est donc divisée par 2 !



Pour diminuer le bruit aux fortes valeurs ISO, il faut donc le diminuer aux faibles valeurs.

Et en argentique ?

La dynamique d'une pellicule est directement liée à sa sensibilité, le 0 étant toujours le 0. En numérique, la valeur ISO est un gain (= une amplification). En argentique, c'est une sensibilité, autrement dit... une plage dynamique !). Pour faire de la HDR en argentique, il suffit donc de prendre une pellicule plus sensible... Une pellicule de 400 ISO a une dynamique d'environ 15 IL. Le grain argentique a une distribution différente du bruit numérique, et (presque) indépendante de son exposition. La notion de HDR n'existe donc pas vraiment.

De plus, la dynamique dépend de la prise de vue, de la façon dont on développe, du type de film, du fait de la pousser ou non, bref.

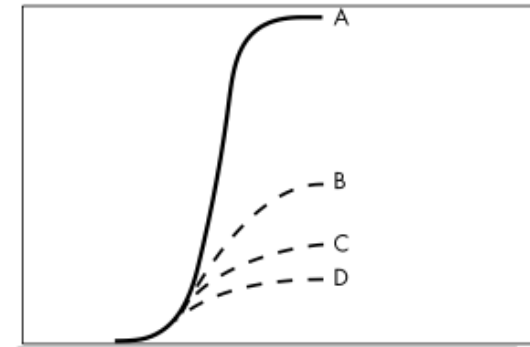
Les courbes ne mentionnent pas de quantité...

On en déduit que la dynamique est supérieure, mais c'est compliqué de la connaître à l'avance.

L'image ci-dessous est prise au sténopé, en calculant l'exposition « au pifomètre » et présente cependant une dynamique qui s'étend du ciel ensoleillé d'Ardèche (16IL) à l'intérieur de la grange (max 5 IL) : au moins 11 IL de dynamique ! (Ilford HP5+).



Exposure to blue light

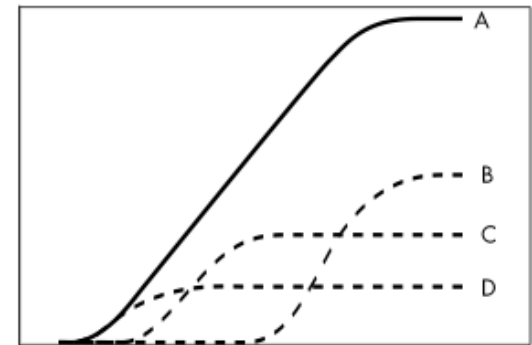


Relative log exposure

Density

- A combined curve
- B dyed emulsion I
- C dyed emulsion II
- D dyed emulsion III

Exposure to green light



Relative log exposure

Density

- A combined curve
- B dyed emulsion I
- C dyed emulsion II
- D dyed emulsion III

5 Limites du capteur

5.1 Problème lié aux fortes dynamiques : la profondeur de l'image.

La **profondeur d'une image** est sa « résolution en nombre de couleurs ».

Si je reprends l'exemple du thermomètre, on sait qu'il a une dynamique de 90 °C. Mais quel est le « pas » de mesure ? Si l'écart minimum entre 2 mesures est :

- 10°C : sa résolution est insuffisante pour l'utiliser tous les jours.
- 1°C, c'est parfait.
- 1/10 °C, c'est inutile pour la plupart des usages... donc trop cher.

Attention : sa résolution peut être de 1/10 °C mais sa précision de ½ °C... Dans ce cas, on vous vend du bruit !

Pour un capteur numérique (par exemple un thermomètre numérique), sa résolution est :

$$\text{résolution} = \frac{\text{dynamique}}{2^{\text{nombre de bits}}}$$

Donc, si on peut mesurer 90 °C avec un capteur, admettons 8 bits, ça nous fait une résolution de $90/2^8 = 0,35^\circ\text{C}$. Si ce thermomètre est utilisé comme thermostat d'un chauffage de maison, c'est suffisant.

Pour une image, la résolution se mesure en bits par canal (couleur). Si le capteur a une dynamique de 12 IL et une résolution de 12 bits, on fait le calcul suivant :

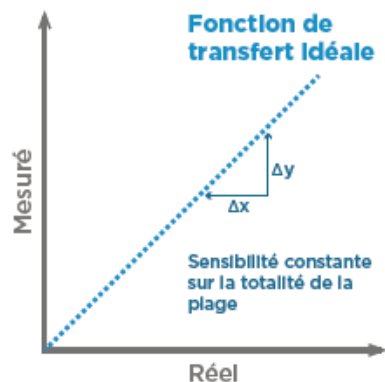
$$\text{résolution d'un capteur} = \frac{12 \text{ IL}}{2^{12 \text{ bits}}} \approx \frac{1}{340} \text{ IL}$$

Autrement dit 0,0029 IL ... on est pas mal.

Le format RAW permet d'enregistrer l'image avec cette profondeur. Si on voulait l'enregistrer au format JPEG, on serait limité à 8 bits par canal, c'est à dire 0,047 IL de résolution... 16 fois plus... de quoi voir apparaître des « aplats » de couleurs. Un peu comme si votre thermomètre vous disait qu'il fait 20°C entre 15 et 25°C !

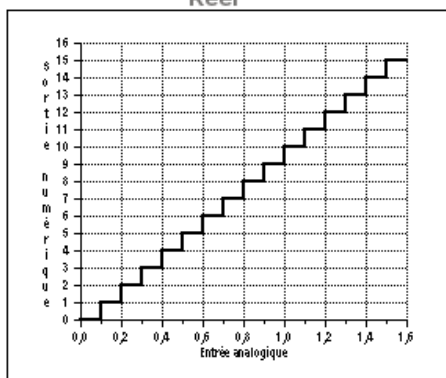
Lorsque l'on veut exploiter un maximum de dynamique de son capteur, il faut donc, et c'est impératif, stocker ses photos en RAW.

5.2 Les différentes limites d'un capteur numérique

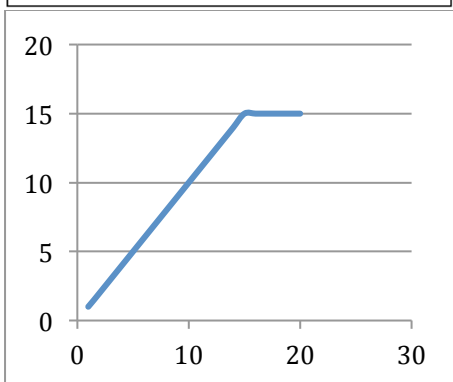


Fonction de transfert idéale :

La résolution est grande et la mesure est fidèle à la réalité.



Résolution trop faible : sur une image, on voit des aplats de couleurs.

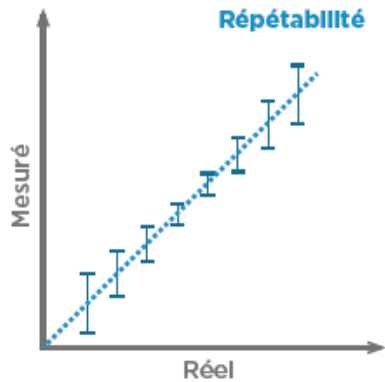


Dynamique trop faible : la plage de mesure du capteur est trop faible, ce qui entraîne des saturations dans les valeurs extrêmes hautes ou basses.

En photo :

Saturation dans les zones basse : la photo est dite « bouchée »

Saturation dans les zones hautes : la photo est dite « cramée »



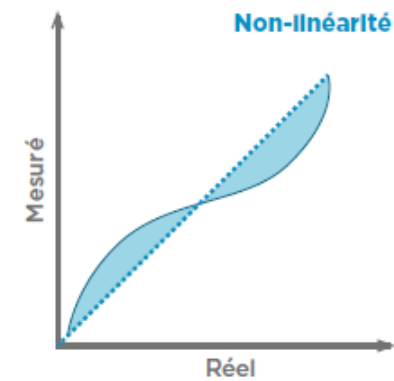
Erreur de répétabilité :

Pour une même valeur analogique, plusieurs mesures donneront des résultats différents. Cette erreur est plus importante vers les zones extrêmes (surtout les zones sombres sur un capteur d'image) et s'appelle le bruit.

En photo, cette même mesure avec des résultats différents peut être des pixels côte à côte. On a alors des zones bruitées, surtout dans les zones sombres à la limite de la saturation basse lorsque l'on augmente le gain (en ISO). Ce bruit est généré par plusieurs phénomènes physiques, dont la température du capteur.

On considère donc la résolution du capteur inexploitable dans sa totalité : un capteur 12 bits sera utilisé sur 10 bits réels, les 2 bits les moins significatifs (chiffres de droite) ne stockent que du bruit.

Sur les appareils compacts, le capteur est toujours sous tension. Il chauffe donc davantage et génère plus de bruit...



Non linéarité : Pour une même variation de lumière, il n'y aura pas la même variation dans la mesure en fonction de notre position sur la courbe.

Cette erreur est corrigée par le logiciel de l'appareil photo, elle n'est donc pas significative.

De ces limitations, on peut en déduire :

- la plage dynamique fait 3 IL de moins qu'annoncé (sur le D700 : 9 IL au lieu de 12 IL), soit 25 % de « gratté » sur les extrémités des plages du capteur.
- Une perte de résolution de 2 bits environ, qui seront du bruit sur (presque) toute la plage.

Moralité : l'image pourrait donc être codée sur 8 bits / couleur en étant bien optimisée !

6 Conclusion : on fait tous du HDR

Sans se prendre la tête, il est intéressant de connaître les limites de son capteur. Ces limites seront régulièrement atteintes, parce que la nature que nous photographions n'a pas de limite, justement.

Lorsque nous avons le temps, il est aussi très intéressant de faire quelques mesures de lumière avant de prendre la photo. C'est une pratique que l'on a oubliée, alors que nos appareils ont perdu en dynamique avec le numérique.

Si on connaît les capacités de notre appareil, et que l'on prend quelques mesures de lumière de la scène, on arrivera rapidement à des photos où la dynamique du capteur est pleinement exploitée, et cependant suffisante.

Le HDR pour «Imagerie à grande gamme dynamique» (en français) n'est pas juste un truc à la mode : c'est prendre une photo en exploitant pleinement son appareil pour que la scène ne soit ni cramée, ni bouchée, comme on le faisait naturellement autrefois, sans effet de mode, en masquant sous l'agrandisseur, et sans se prendre la tête.

Enjoy !

Jonathan