

# LE TRAITEMENT D'IMAGES

- RAW -

Jonathan Fabrizio

<http://jo.fabrizio.free.fr>

Version : Fri Mar 21 23:31:52 2025

D'une image RAW à une image visible

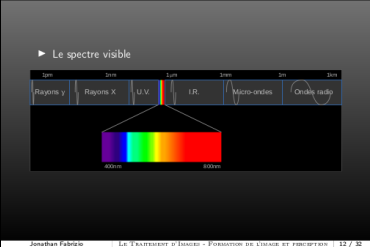
La couleur

Comment transformer une image RAW en image visible

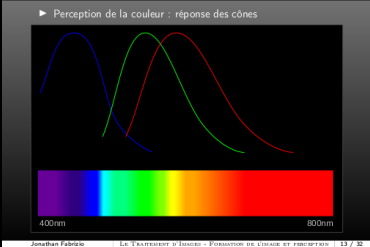
- La couleur est lié à la perception et n'est pas a priori une "propriété physique"
- Que veut dire bleu ? Que veut dire rouge ? Ou encore vert ?

# La perception de la couleur

## Perception



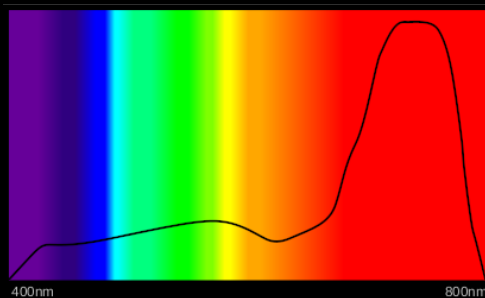
## Perception



## La Spectral Power Distribution (SPD)

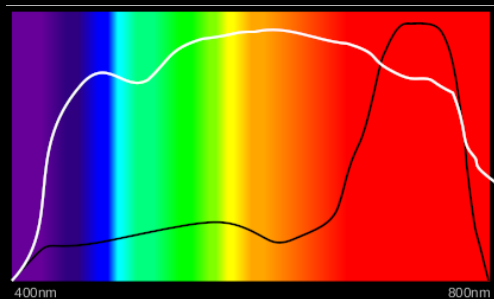


## La Spectral Power Distribution (SPD)



La perception est lié à la propriété de la surface (*Reflectance*  $R(\lambda)$ ),

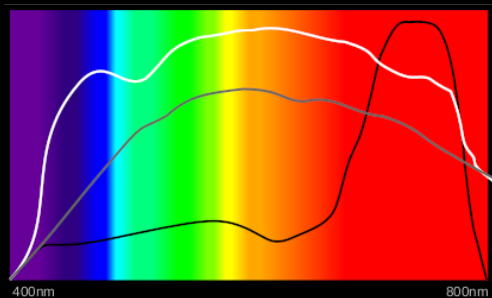
## La Spectral Power Distribution (SPD)



mais aussi de la lumière (*illuminant*  $S(\lambda)$ )



## La Spectral Power Distribution (SPD)



le tout combiné avec la réponse du capteur

Dans le cas de la vision humaine, la réponse du capteur est la combinaison des réponses des 3 familles de capteurs :

- S (blue)
- M (green)
- L (red)

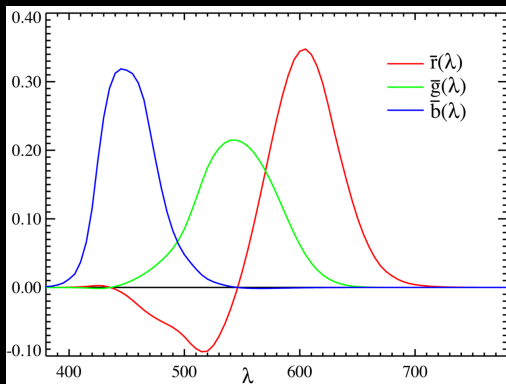
Note : plusieurs SPD différentes peuvent produire le meme résultat au niveau du capteur.

On peut calculer l'énergie pour chaque récepteur en fonction du signal reçu  $f(\lambda)$  :

$$\begin{cases} C_1 &= \int_0^\infty R(\lambda)S(\lambda)c_1(\lambda) d\lambda \\ C_2 &= \int_0^\infty R(\lambda)S(\lambda)c_2(\lambda) d\lambda \\ C_3 &= \int_0^\infty R(\lambda)S(\lambda)c_3(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_1 &= \int_0^\infty f(\lambda)c_1(\lambda) d\lambda \\ C_2 &= \int_0^\infty f(\lambda)c_2(\lambda) d\lambda \\ C_3 &= \int_0^\infty f(\lambda)c_3(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (2)$$

Il faut bien choisir les fonctions ( $c_i(\lambda)$ ), ce qui a conduit à la norme CIE RGB :

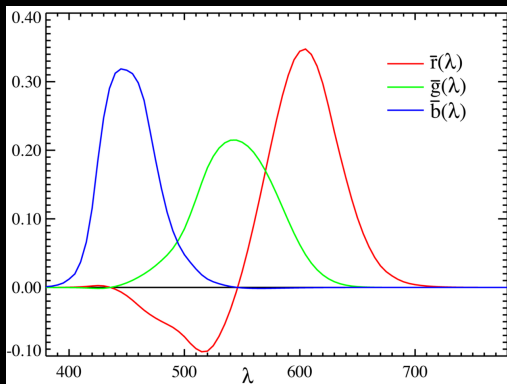


Source : wikipedia

Cela repose sur les primaires :

- $\lambda_R = 700 \text{ nm}$  (rouge) ( $\bar{g}(700) = \bar{b}(700) = 0$ )
- $\lambda_G = 546.1 \text{ nm}$  (vert) ( $\bar{r}(546.1) = \bar{b}(546.1) = 0$ )
- $\lambda_B = 435.8 \text{ nm}$  (bleu) ( $\bar{r}(435.8) = \bar{g}(435.8) = 0$ )

L'espace va de 380 nm à 780 nm (l'espace visible en pratique est un peu plus grand)



Source : wikipedia

$$L_{\{C\}} = 1,000\ 0 \cdot R + 4,590\ 7 \cdot G + 0,060\ 1 \cdot B \quad (3)$$

Attention : en pratique c'est un peu plus compliqué (il y des différences (au sens soustraction) entre les sorties des différents capteurs).

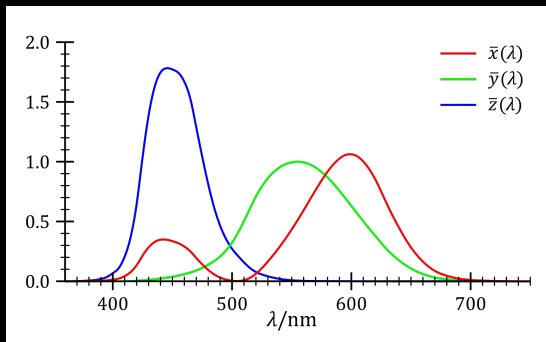
- le CIE RGB a quelques contraintes (val. négatives)

On a envie de simplifier :

- *white point* à  $X = 1/3, Y = 1/3, Z = 1/3$
- $Y$  la luminance

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49000 & 0.31000 & 0.20000 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00000 & 0.01000 & 0.99000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

(CIE = Commission internationale de l'éclairage)



Source : wikipedia

- *white point* à  $X = 1/3, Y = 1/3, Z = 1/3$
- Y la luminance
- Si on a deux SPD  $f_1(\lambda)$  et  $f_2(\lambda)$  qui donnent respectivement  $(X_1, Y_1, Z_1)$  et  $(X_2, Y_2, Z_2)$ , les deux couleurs sont perçues comme identiques.
- XYZ est considéré comme "*device independent*" il peut être utilisé comme espace canonique.

On peut dériver du CIE XYZ, le CIE Yxy qui a la luminance Y et la chrominance xy.



- Si on a deux SPD  $f_1(\lambda)$  et  $f_2(\lambda)$  qui donnent respectivement  $(X_1, Y_1, Z_1)$  et  $(X_2, Y_2, Z_2)$ , les deux couleurs sont perçues comme identiques.
- Pour autant, la perception compense (*chromatic adaptation*) + est perturbée par le contexte... Ce n'est donc pas si simple.

Traitement des images couleur :

- Bien choisir son espace de couleur
- ou ne travailler que sur une composante (L)
- Réaliser un traitement dédié (gradient couleur, segmentation)

Problème majeur avec les images couleur :

- pas de relation d'ordre entre les pixels



Bien choisir son espace de couleur :

- RGB (on peut traiter les plan indépendamment)
- HLS (On peut traiter que le L ou le S...)
- lab (On a une distance entre les couleurs qui a une signification)
- XYZ (On a un espace de reference, on peut passer de l'un à l'autre)
- YCbCr (On a une séparation luminance, chrominance - bien pour la compression par exemple)
- ...

On peut traiter les plan indépendamment : mais il faut bien choisir son espace de couleur. (Comme on l'a fait avec le renforcement de la netteté... même si on peut le faire que sur L).

On peut ne travailler que sur une composante (L) : C'est assez typique avec des modification de l'histogramme (Comme on l'a fait avec l'égalisation d'histogramme...).

Réaliser un traitement dédié :

Exemples :

- median
- gradient
- ...

Réaliser un traitement dédié :

- median

Pour chaque pixel, avec  $K$  pixels autour, la somme des distances du pixel median  $p_m$  aux autres pixels  $p_i$  est inf. à la somme des distances d'un autre pixel  $p_j$  aux autres pixels  $p_i$ .

$$\sum_{i=0}^K \|p_m - p_i\| < \sum_{i=0}^K \|p_j - p_i\| \quad \forall j \neq m \quad (5)$$

Réaliser un traitement dédié :

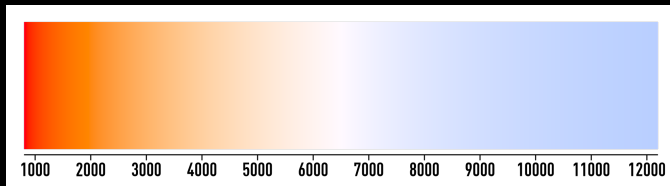
- gradient

Appliquer le calcul du gradient sur chaque plan puis sommer les résultats ou calculer la distance entre les vecteurs de deux pixels successifs.



Pour en finir avec les couleurs.

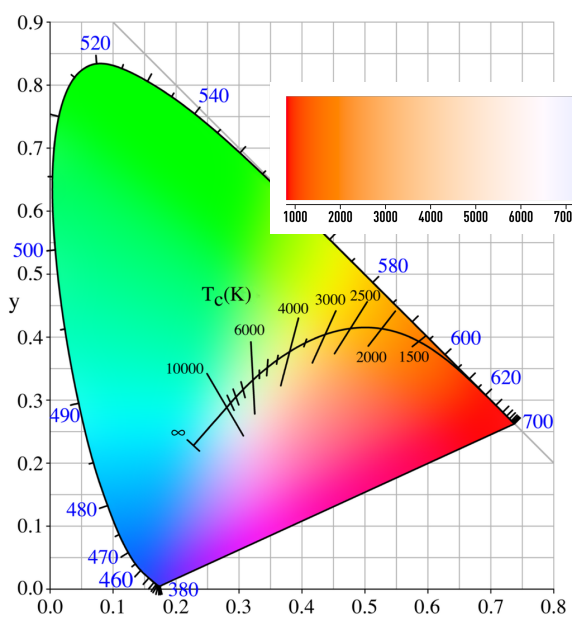
- La température de couleur caractérise la couleur d'**une source lumineuse** : elle est la température du corps noir
- Un corps noir est un corps qui absorbe parfaitement toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit. Ce qu'il renvoie ne dépend que de sa température propre.



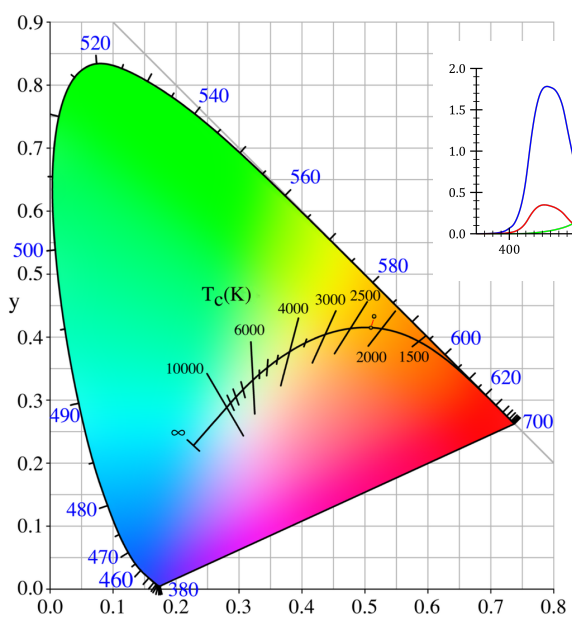
Source : wikipedia

(en °K)

# La température des couleurs



# La température des couleurs : caractérisation d'une source

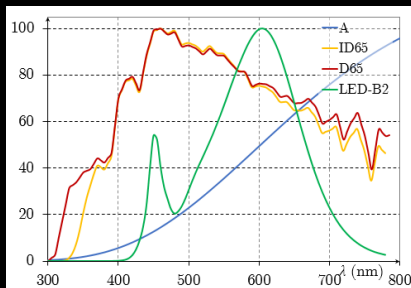


C'est plutôt une température corrélée.

Une serie d'*illuminants* ont été normalisés :

illuminants	description
A	lumière moyenne d'une lampe à incandescence
B	lumière directe du soleil
C	la lumière du jour.
D	remplacent les illuminants B et C depuis 1963, représentent la lumière du jour à différentes températures : D55 (55000K), D65 (65000K)...
ID	les lumières du jour en intérieur.
...	...

## La température des couleurs : caractérisation d'une source



Source : wikipedia

On va souvent donner leur température.

On peut *passer* d'un illuminant à un autre :

$$\begin{bmatrix} L_2 \\ M_2 \\ S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_{2,w}}{L_{1,w}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{M_{2,w}}{M_{1,w}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{S_{2,w}}{S_{1,w}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$



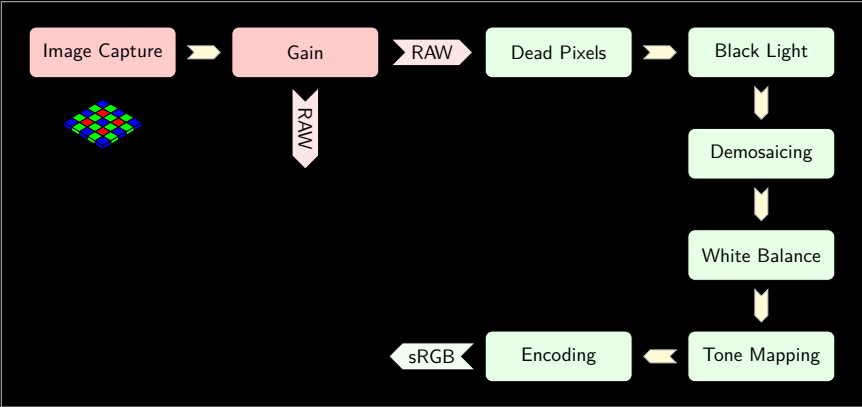


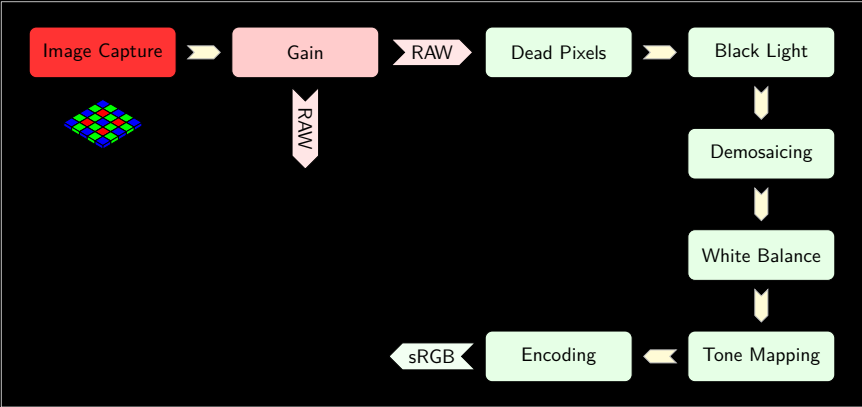
Comment transformer une image RAW en image visible ?

Objectif : transformer l'image RAW du capteur (CCD/CMOS) en image visible.

Hardware dédié pour rendre l'image finale.

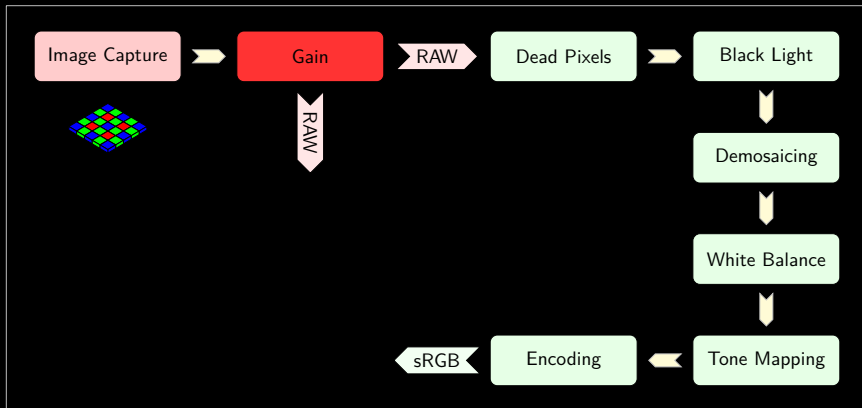
L'ISP peut contenir des NPUs (Neural processor units).





Différents types de *shutter*

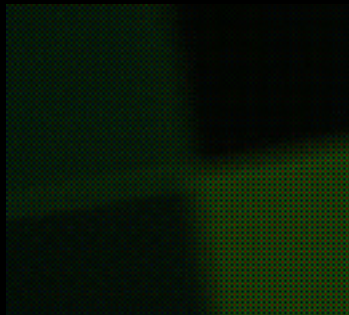
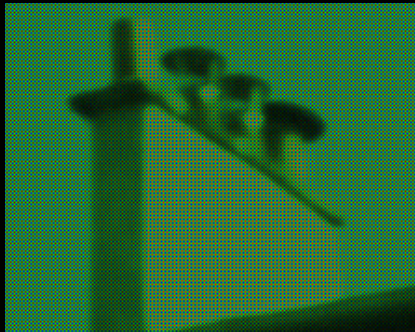
Sortie des capteurs proportionnelle au niveau d'illumination  
(linéaire : irradiance  $\times$  temps d'exposition).  
Quantifiée sur 8, 10, 12, 16bits...

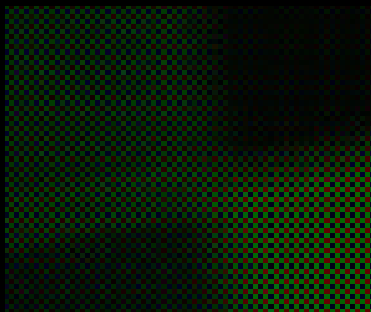


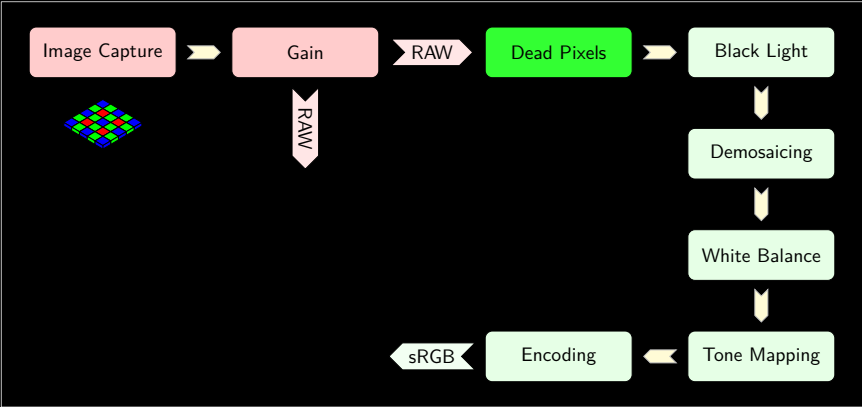




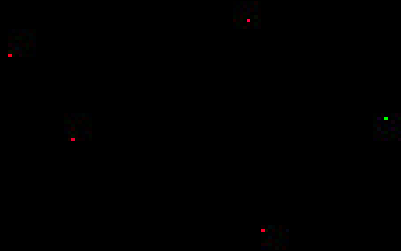


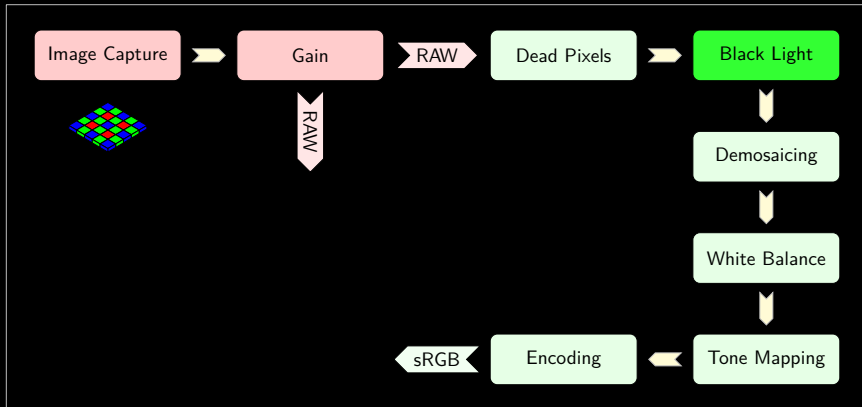






Détection en usine et correction dans la chaîne.

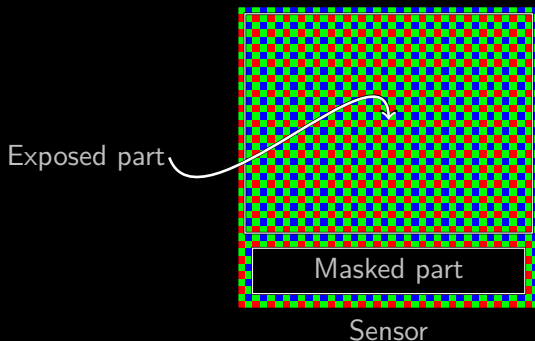


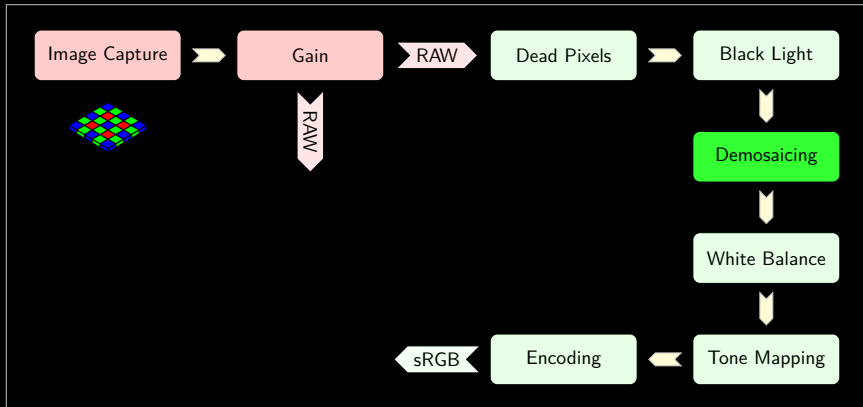


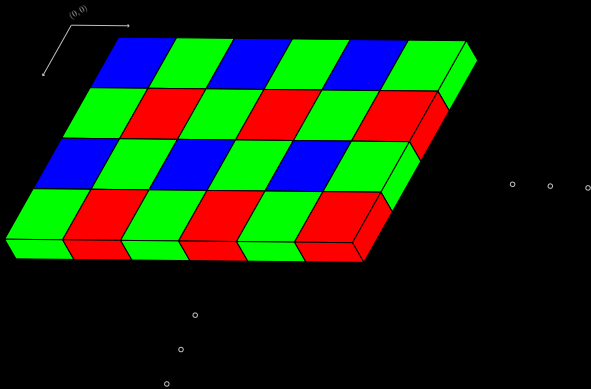
Detection du noir (absence total de lumière sur un capteur).  
Malheureusement, pas de lumière  $\nRightarrow$  0V en sortie + le potentiel peut varier dans le temps (pas vraiment possible de prévoir).  
Il faut donc trouver le potentiel de base du capteur -  
au moment du cliché.

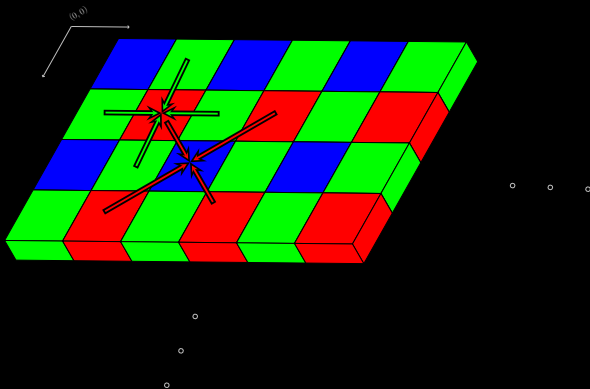


Detection du noir (absence total de lumière sur un capteur).  
Une solution *hardware* usuelle : *the optical black*.









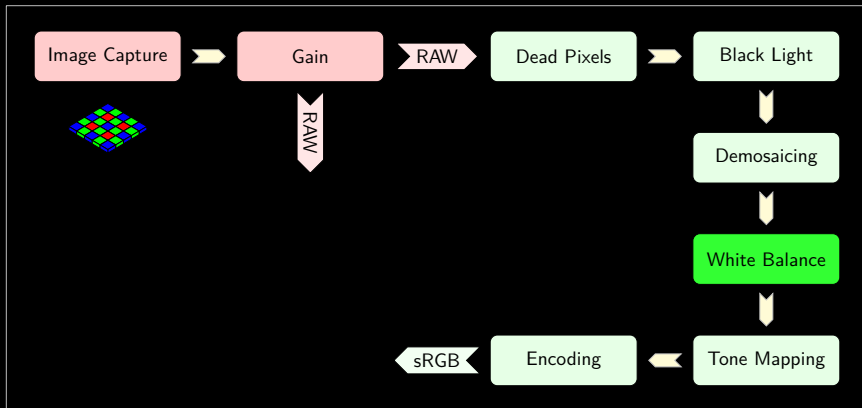
Tenir compte des contours...



Débayerisation



Débayerisation (gamma corrigé)



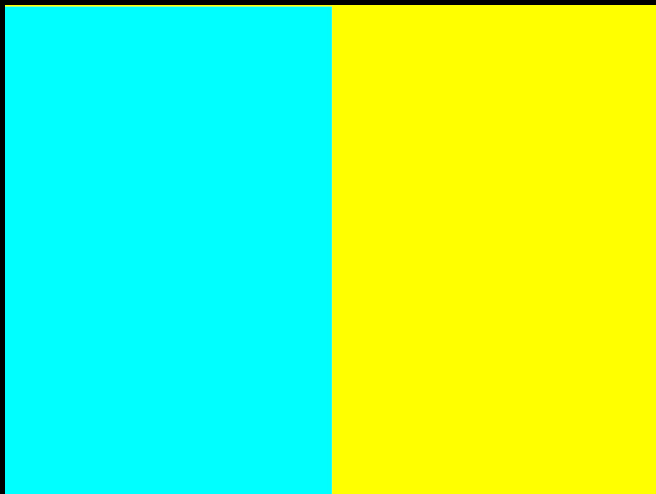
“*La couleur du blanc*” :-) va dépendre de l’illuminant + revoir l’adaptation de notre oeil !

- Trouver le niveau correspondant au blanc ?
- Supposer que les moyennes des canaux sont équilibrés (*gray world*) ?
- Supposer la température/le type de l’éclairage ?
- L’utilisateur indique une zone qui est supposée être blanche ?













$$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$c_{wb} = \begin{bmatrix} r_c/r \\ g_c/g \\ b_c/b \end{bmatrix} \quad (8)$$

Matrice de correction :

$$\begin{bmatrix} 1/r & 0 & 0 \\ 0 & 1/g & 0 \\ 0 & 0 & 1/b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g/r & 0 & 0 \\ 0 & g/g & 0 \\ 0 & 0 & g/b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g/r & 0 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 \\ 0 & 0 & g/b \end{bmatrix} \quad (9)$$

# Balance des blancs



Average



Max



Average



Max

Automatique



Forcé



Manuel

Manuel

(gamma corrigé)



Incandescent



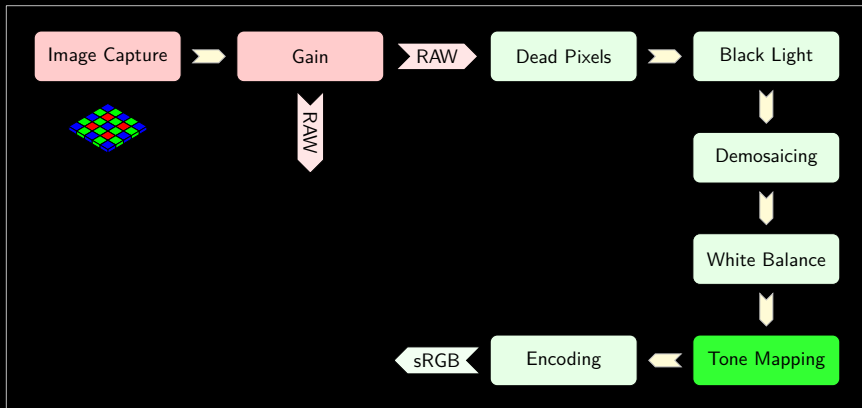
Shade



Sunny

Preset (gamma corrigé)





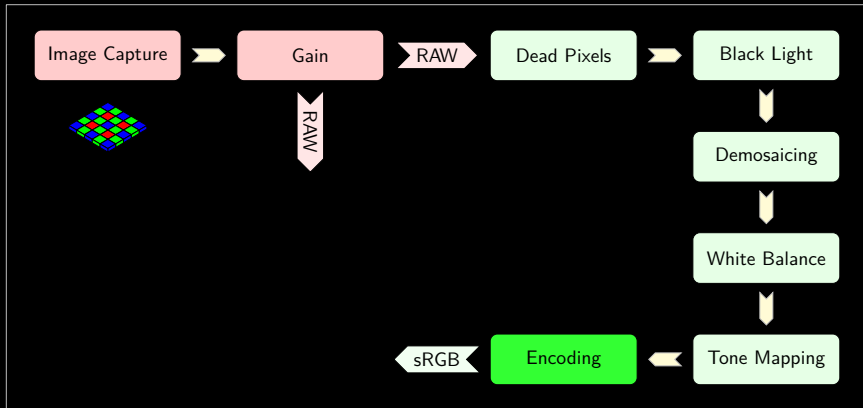
Chaque entreprise/appareil à sa “recette” pour améliorer les couleurs de l’image + tone mapping local.



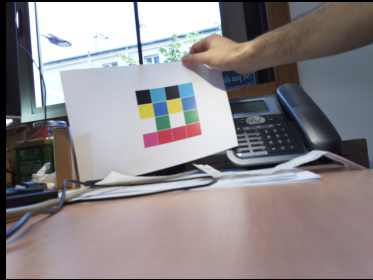
- Mais c'est encore moche ! Pourquoi ?



- Mais c'est encore moche ! Pourquoi ?
- le gamma ! évidemment...



sRGB, Adobe sRGB...+ jpg ou autre...



C'est une chaîne simplifiée. L'ordre des étapes peut varier et il manque des étapes (débruitage et Flat-field correction notamment).

Avec le deep learning, les algorithmes classiques de plusieurs étapes sont progressivement remplacés par des réseaux.



Pas du tout exhaustif ni même ordonné :

- Format de fichier : DNG
- Librairie : libraw
- logiciel : ufraw

FIN !