

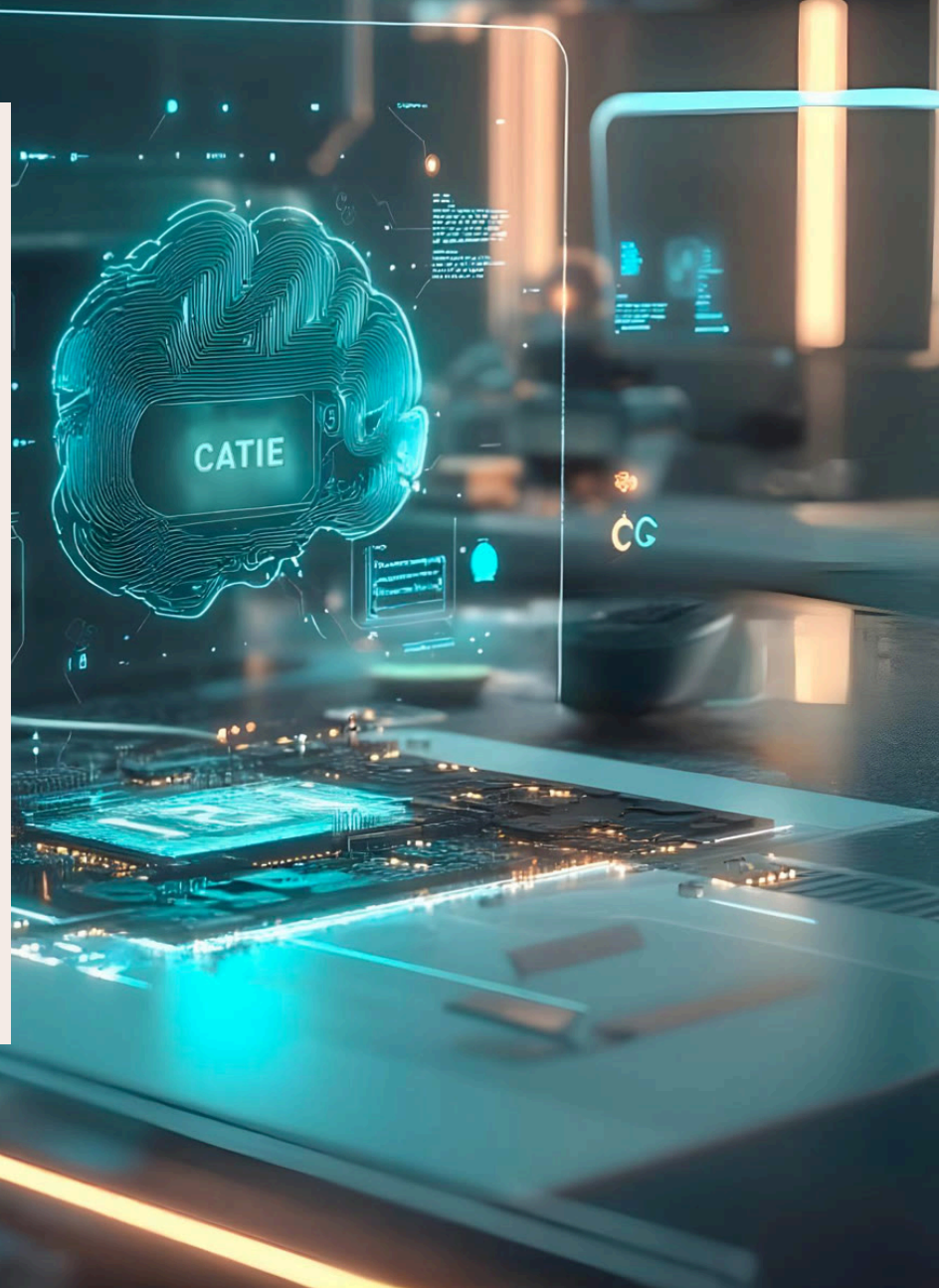


# CATIE

## Traitement d'images

Acquisition : capture, stockage et  
transport

2026



# Plan du cours

1. Acquisition d'images
2. Traitement d'images
3. Analyse d'images "classique"

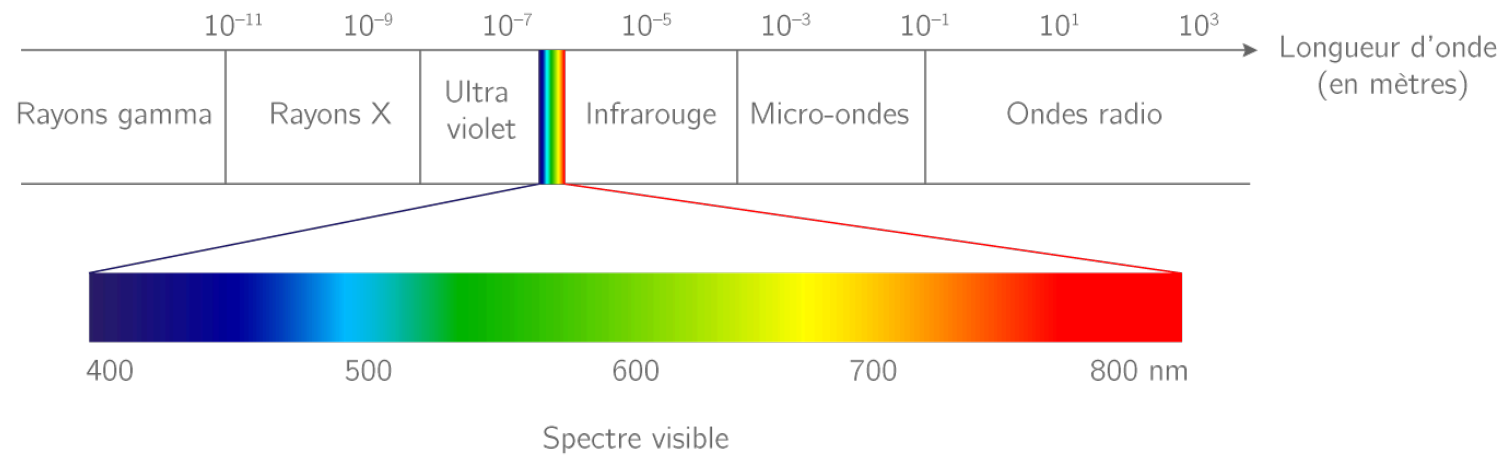


# 1. Lumière et couleur

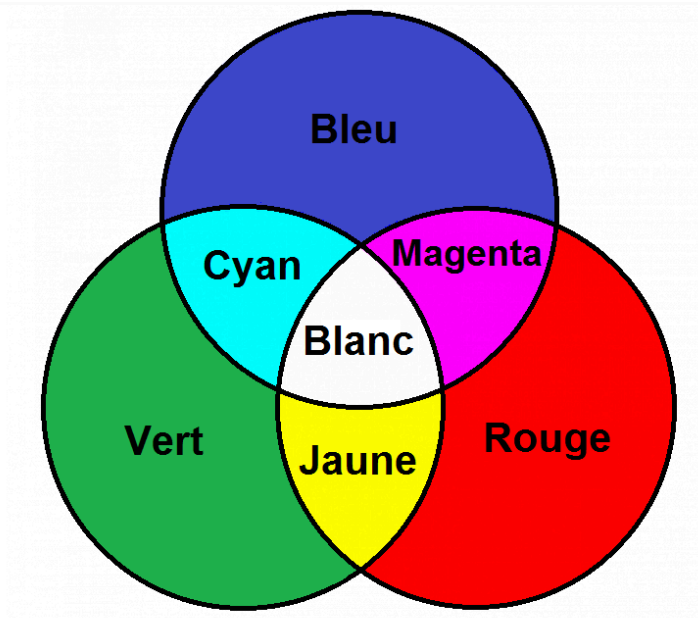
Comment la lumière devient-elle des nombres ?

# Spectre de la lumière

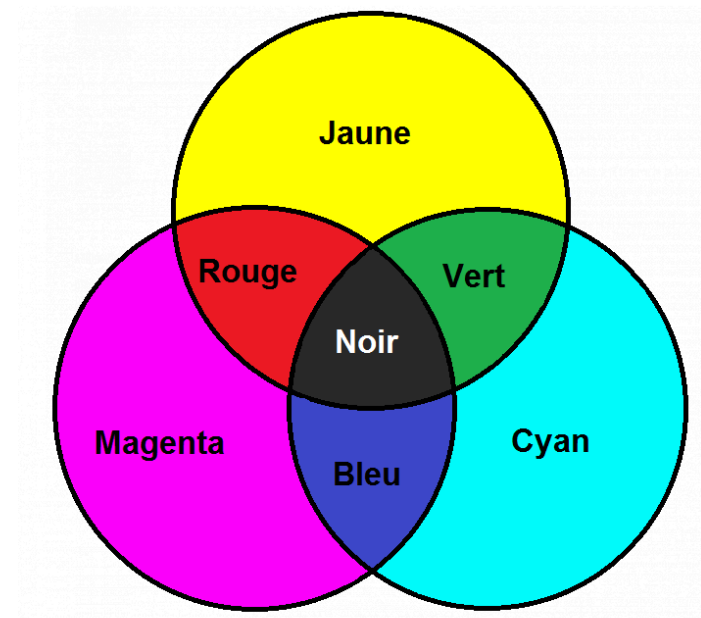
Seule une partie du spectre de la lumière est visible par l'œil humain.



# Synthèse additive des couleurs



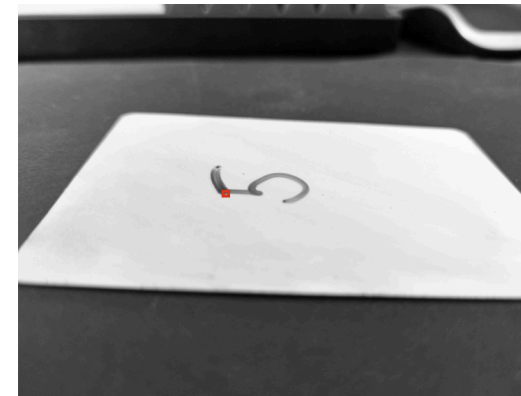
Synthèse additive



Synthèse soustractive

# Représentation numérique

- Une image est une matrice de pixels
- Chaque pixel est un point de couleur
- Chaque pixel est le plus souvent défini par un triplet de valeurs
  - Ces valeurs dépendent de l'espace de couleur utilisé (RGB, HSV, YUV, Y'CbCr)
- Parfois un quatrième canal est utilisé (transparence, profondeur)

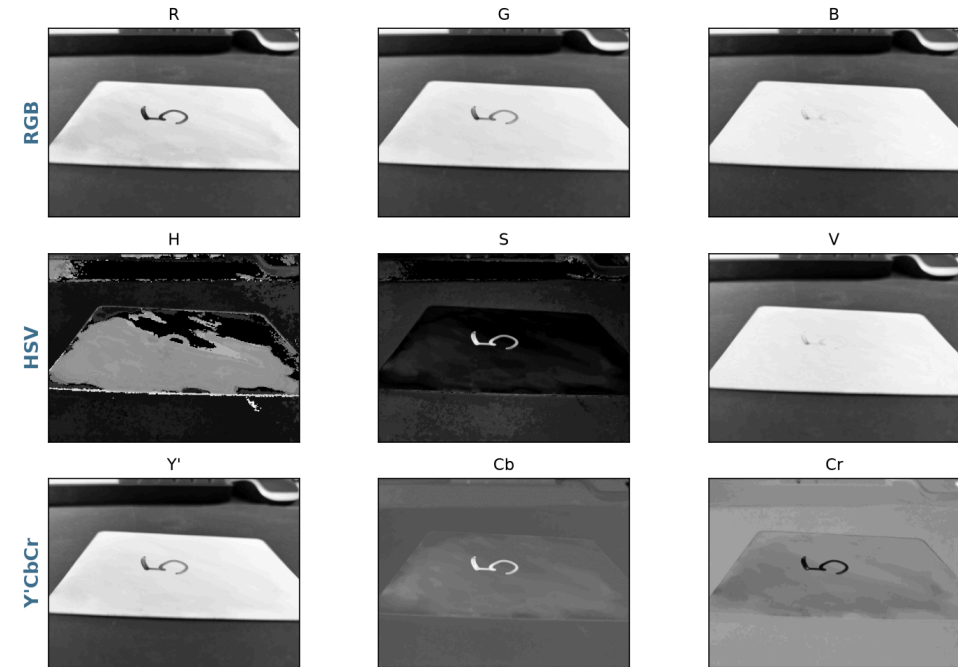


Zoom 8×8 : une matrice de valeurs 0-255

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 50  | 47  | 47  | 50  | 59  | 67  | 83  | 91  |
| 60  | 57  | 58  | 62  | 66  | 76  | 87  | 93  |
| 72  | 71  | 72  | 80  | 81  | 85  | 93  | 100 |
| 87  | 90  | 91  | 93  | 99  | 114 | 139 | 151 |
| 109 | 114 | 122 | 132 | 147 | 169 | 194 | 205 |
| 164 | 170 | 179 | 187 | 200 | 210 | 216 | 219 |
| 205 | 209 | 215 | 218 | 218 | 220 | 221 | 221 |
| 222 | 222 | 221 | 223 | 222 | 222 | 223 | 223 |

# Espaces de couleurs

- Il existe de nombreux espaces de couleurs
- Les plus courants sont :
  - RGB (Red, Green, Blue)
  - HSV (Hue, Saturation, Value)
  - YUV (Luminance, Chrominance)
  - Y'CbCr (Luminance, Chrominance bleue, Chrominance rouge)



# La luminance et la chrominance

- La **luminance** est la composante de l'image qui représente la "luminosité"
- La **chrominance** est la composante de l'image qui représente la "couleur"

# YUV vs Y'CbCr

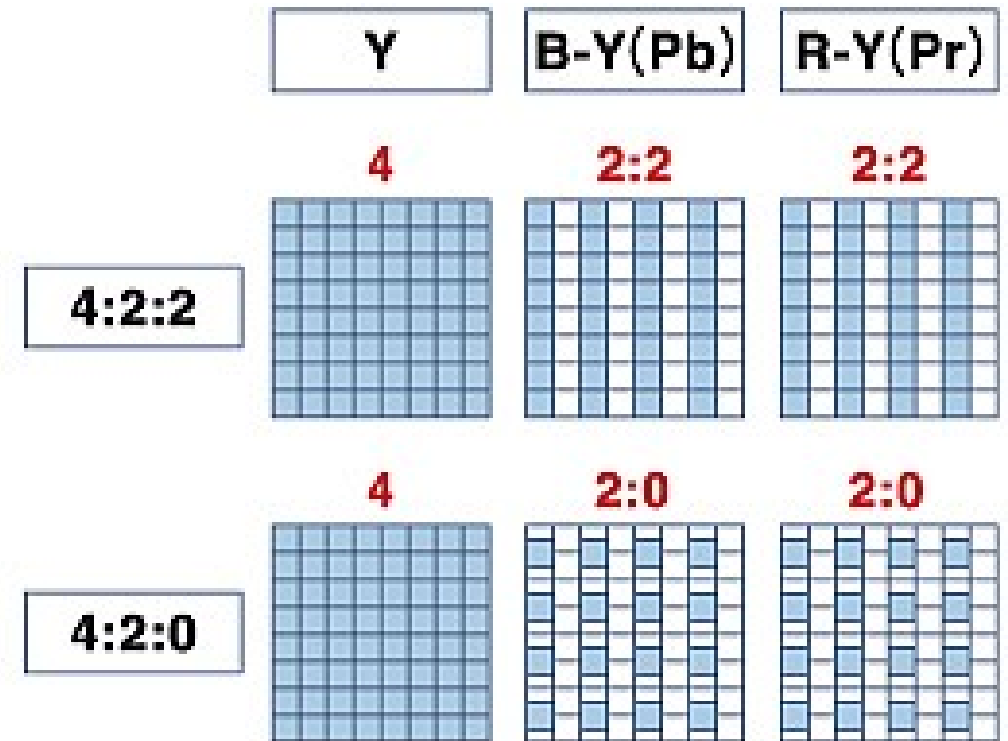
La frontière entre YUV et Y'CbCr est souvent floue. En pratique, YUV est souvent utilisé pour désigner Y'CbCr. En pratique leur origine provient de la télévision analogique.

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y' \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

# Format 4:4:4 - 4:2:2 - 4:2:0 ?

- L'oeil humain est plus sensible à la luminance qu'à la chrominance
- On sous-échantillonne la chrominance pour réduire la taille des images





## 2. Capteur et optique

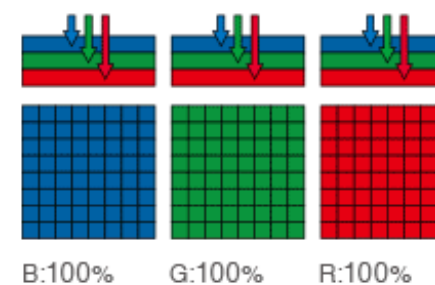
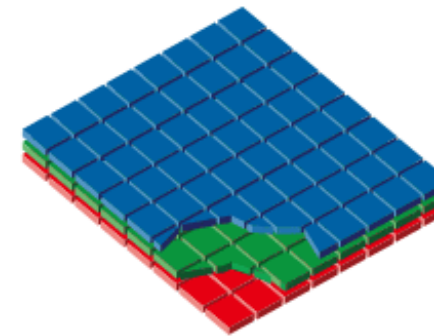
Qu'est-ce qui décide de ce que la caméra voit ?

# Capture des images

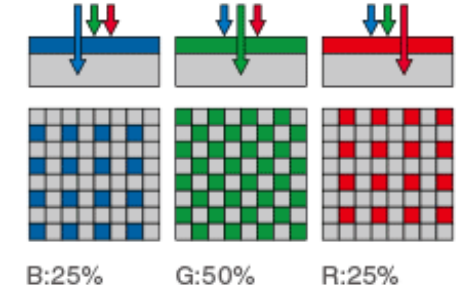
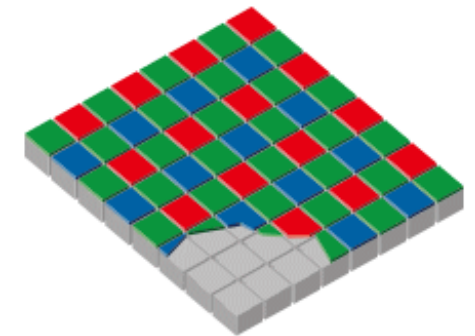
## Les capteurs

- Différentes technos de capteurs photoélectriques :
  - CMOS (moins cher, plus de bruit, moins de consommation)
  - CCD (à taille égale plus grande surface sensible, moins de bruit, plus cher, plus de consommation)
- Chaque pixel est un photosite
- Chaque photosite est sensible à une couleur
  - Filtre de Bayer (le plus courant)
  - Capteur Foveon (3 couches empilées : chaque pixel mesure R, G et B)

Foveon X3  
direct image sensor

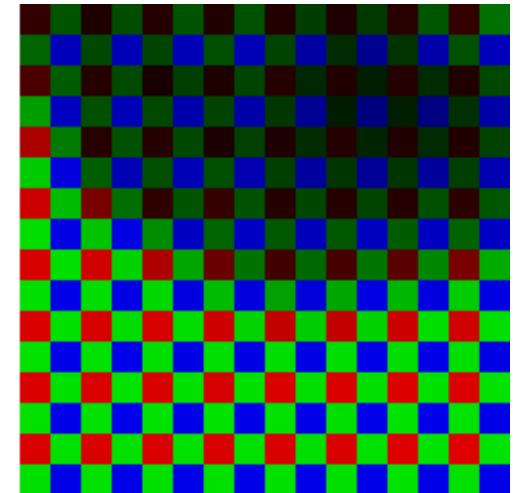
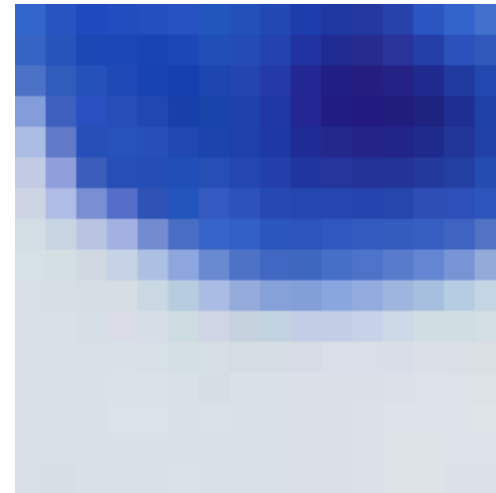


Color filter array sensor  
(Bayer filter sensor)



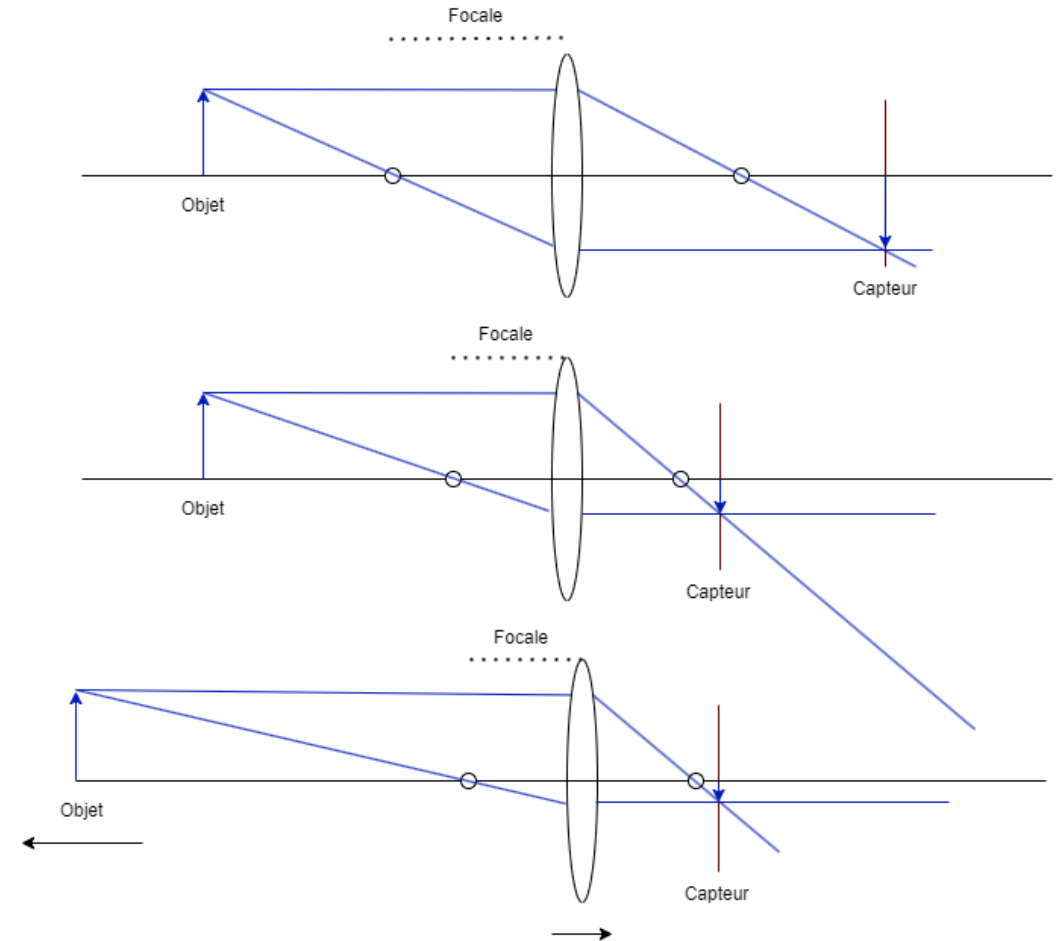
# Le filtre de Bayer

- Chaque photosite ne mesure qu'**une** couleur : R, G ou B
- 2 photosites verts pour 1 rouge et 1 bleu (l'œil est plus sensible au vert)
- Les 2 autres couleurs de chaque pixel sont **interpolées** (dématriçage)
- Une image « RAW » contient la mosaïque brute



# La focale et la mise au point

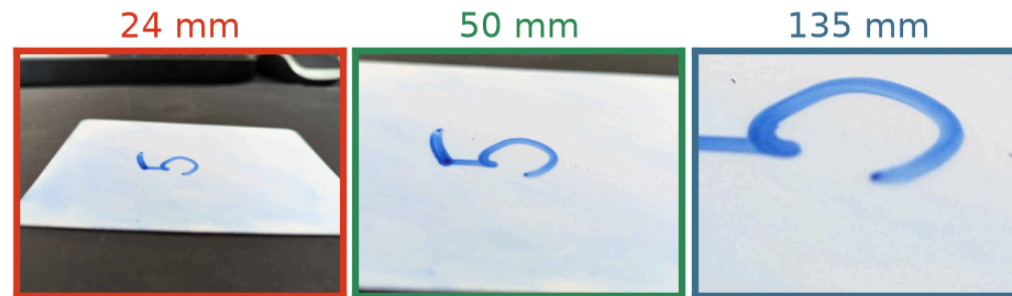
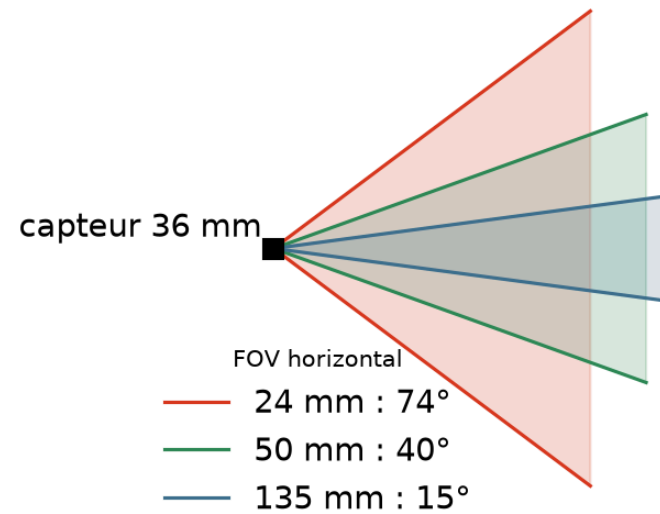
- Distance entre le centre optique et le point de convergence de la lumière
- Plus la focale est petite, plus le champ de vision est grand
- Plus la focale est grande, plus la profondeur de champ est faible
- Pour faire le point il faut déplacer la lentille par rapport au capteur



# Le FOV (Field Of View)

- Le FOV est l'angle de vision de l'appareil
  - Il dépend de la focale et de la taille du capteur
    - Plus la focale est grande, plus le FOV est petit
    - Plus le capteur est grand, plus le FOV est grand
  - Le FOV est exprimé en degrés (horizontal et vertical ou diagonal)
  - $\text{FOV horizontal} = 2 \cdot \text{atan}(\text{taille du capteur} / 2 \cdot \text{focale})$
- ! Attention à la distorsion de l'image (fish-eye)

# Le FOV selon la focale





### 3. Exposition et réglages

Combien de lumière, et à quel prix ?

# L'ouverture

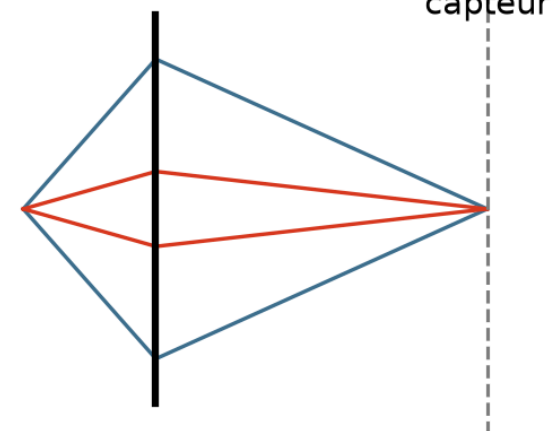
- L'ouverture est le diamètre du diaphragme de l'objectif
- Elle est exprimée par le **nombre d'ouverture** N (f-number) = focale / diamètre, noté f/N
- Valeurs usuelles : f/2.8, f/4, f/5.6, f/8, f/11, f/16, f/22 (f/2.8 : diamètre = focale / 2.8)
- Plus N est petit, plus l'ouverture est grande
- Plus l'ouverture est grande, plus la lumière est captée
- Plus l'ouverture est grande, plus la profondeur de champ est faible

# L'ouverture : nombre d'ouverture N

Diamètre du diaphragme (focale / N) : lumière  $\div$  2 à chaque cran



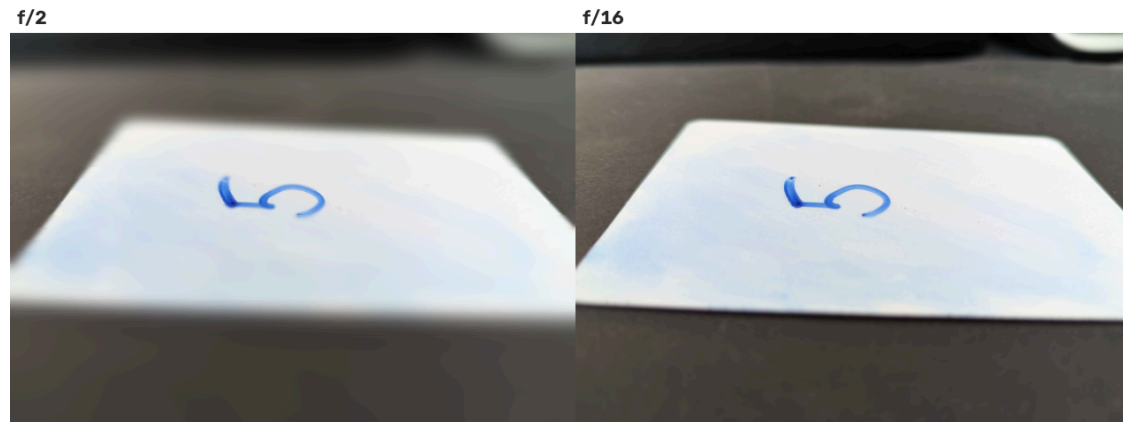
Faisceau de lumière admis  
diaphragme



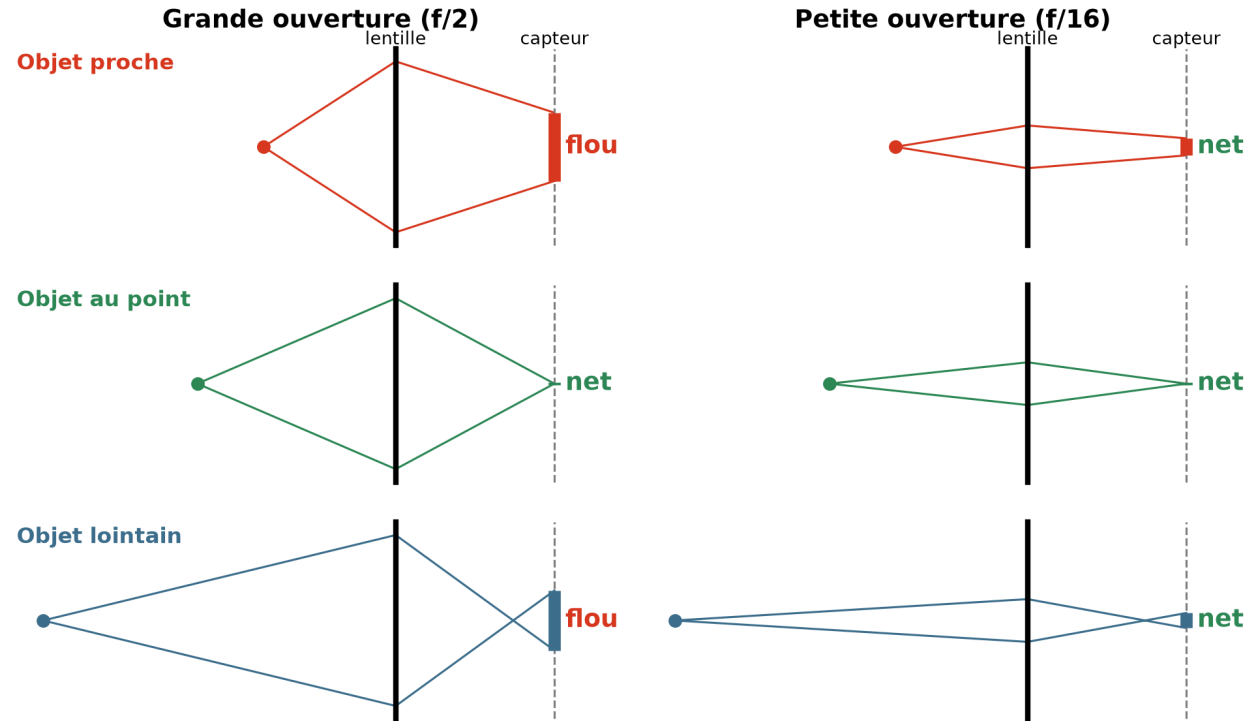
—  $f/2$  : grande ouverture      —  $f/16$  : petite ouverture

# La profondeur de champ

- La profondeur de champ est la zone de netteté de l'image
- Elle dépend de la focale, de l'ouverture et de la distance de mise au point
- Plus la focale est grande, plus la profondeur de champ est faible
- Plus l'ouverture est grande, plus la profondeur de champ est faible
- Plus la distance de mise au point est grande, plus la profondeur de champ est grande



# Profondeur de champ : schéma optique



Trait épais sur le capteur = disque de flou. Plus l'ouverture est petite, plus la zone nette s'élargit.

# La vitesse d'obturation (shutter speed)

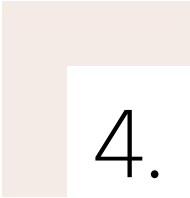
- Temps pendant lequel le capteur est exposé à la lumière
- Plus le temps est long, plus la lumière est captée
- Plus le temps est long, plus le flou de mouvement est important

# La sensibilité ISO

- La sensibilité ISO est la sensibilité du capteur à la lumière
- Peut être augmentée de manière "artificielle" (amplification du signal)
- Plus la sensibilité est grande, plus le bruit est important

# La balance des blancs

- La balance des blancs est le réglage de la température de couleur
  - Elle permet de corriger les dominantes de couleurs
  - Elle est exprimée en Kelvin
  - Les valeurs courantes sont 3200K (chaud), 5600K (neutre), 6500K (froid)
- Attention aux réglages automatiques et dynamiques



## 4. Défauts de l'image

Pourquoi l'image n'est jamais parfaite

# Bruit

- Le bruit est un signal parasite
- Il est dû à de nombreux facteurs
  - Signal parasite du capteur
  - Chaîne d'amplification du signal
  - Température du capteur
- Techniques de réduction du bruit
  - Filtre passe-bas
  - Perte de détails



# Flou

- Flou de mise au point
  - Flou de mouvement
  - Diminuer le flou
    - Fermer l'ouverture (plus de profondeur de champ)
    - Raccourcir le temps d'exposition
    - Stabilisation de l'image
    - Post-traitement (déconvolution)
- Trouver le bon compromis entre flou et bruit



# Aberrations chromatiques

- Les aberrations chromatiques sont des défauts optiques
- Elles se traduisent par des halos colorés autour des objets
- Techniques de correction
  - Utilisation de lentilles spécifiques



# Vignettage

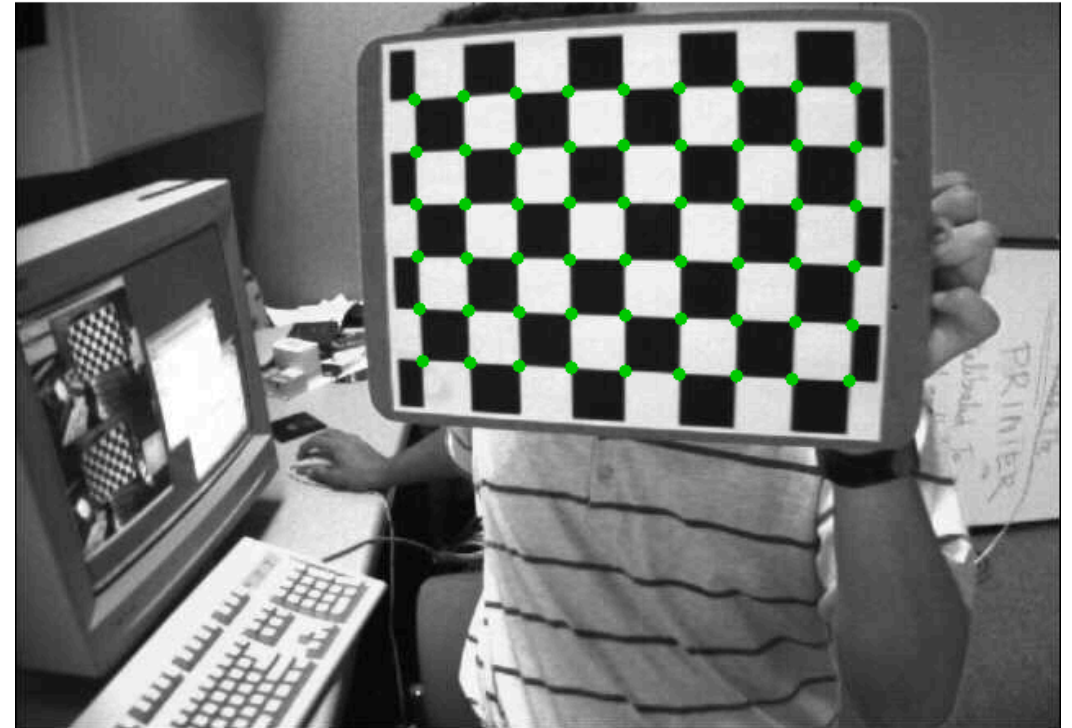
- Le vignettage est une diminution de la luminosité sur les bords de l'image
- Il est dû à la forme de l'objectif



# Distorsion

- La distorsion est une déformation de l'image
- Elle est due à la forme de l'objectif
- Elle se traduit par des lignes courbées
- Techniques de correction
  - Lentilles spécifiques
  - Correction logicielle : calibration

**Image brute : lignes courbées**



# Correction de la distorsion

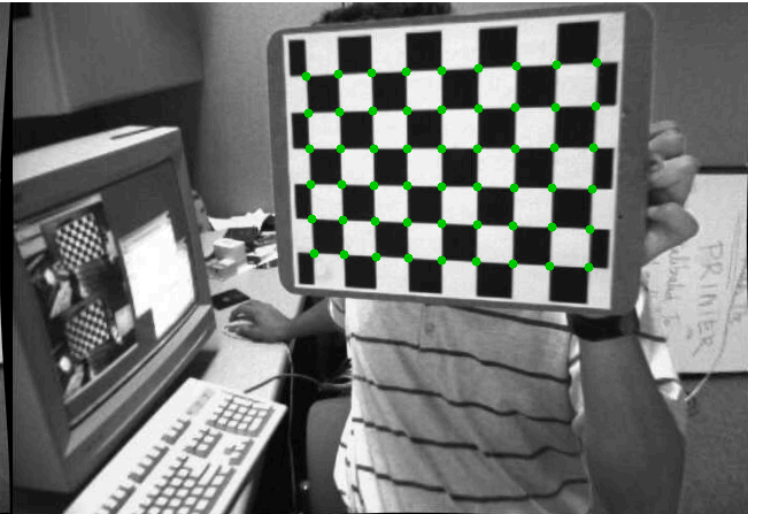
Pixels perdus (rouge) : 4 %



Corrigée, rien perdu : bords noirs



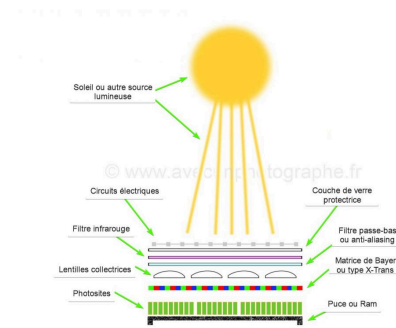
Corrigée et recadrée : lignes droites



- Calibration sur des images de damier (`cv2.calibrateCamera`), puis `cv2.undistort` : les lignes redeviennent droites
- La correction déplace les pixels : on perd de l'information sur les bords, ou on garde des bords noirs

# Moiré

- Le moiré est un motif parasite (franges ondulées)
- Il est dû à l'interférence entre les pixels du capteur et les motifs de l'image
- Techniques de réduction
  - Filtre physique anti-moiré au dessus de la matrice de Bayer
  - Post-traitement ?



# Rolling shutter

- Déformation de l'image due à la lecture ligne par ligne du capteur en cas de mouvement rapide
- Utiliser un global shutter dans les cas problématiques



■ Peut être utilisé pour calculer la vitesse de déplacement d'un objet connu



## 5. Stockage et transport

Comment faire tenir l'image dans un fichier ou un flux ?

# Transport d'une image

- Pour parvenir jusqu'à la machine, l'image doit être transportée.
- Pour des raisons de bande passante, les images sont souvent compressées.
- Ex : un flux vidéo brut 1080p à 30 fps ne passe pas sur de l'USB 2.0

Il faut arbitrer entre **latence**, **charge CPU** et **qualité**.

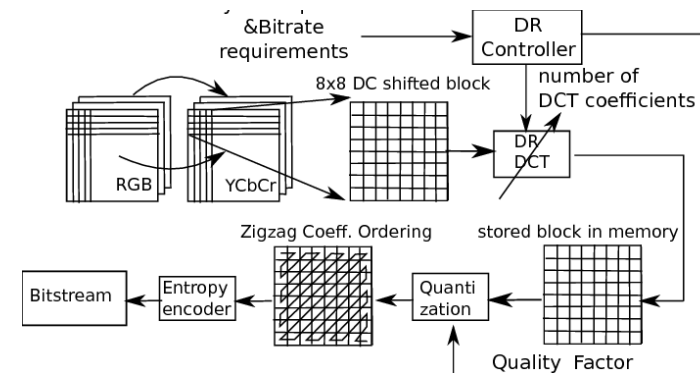
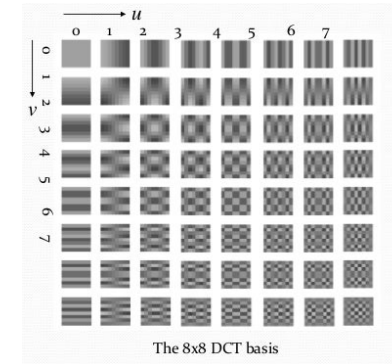
| Pour comprendre la compression on va s'intéresser d'abord à la compression d'une image avant de voir la compression d'une vidéo.

# Stockage d'une image

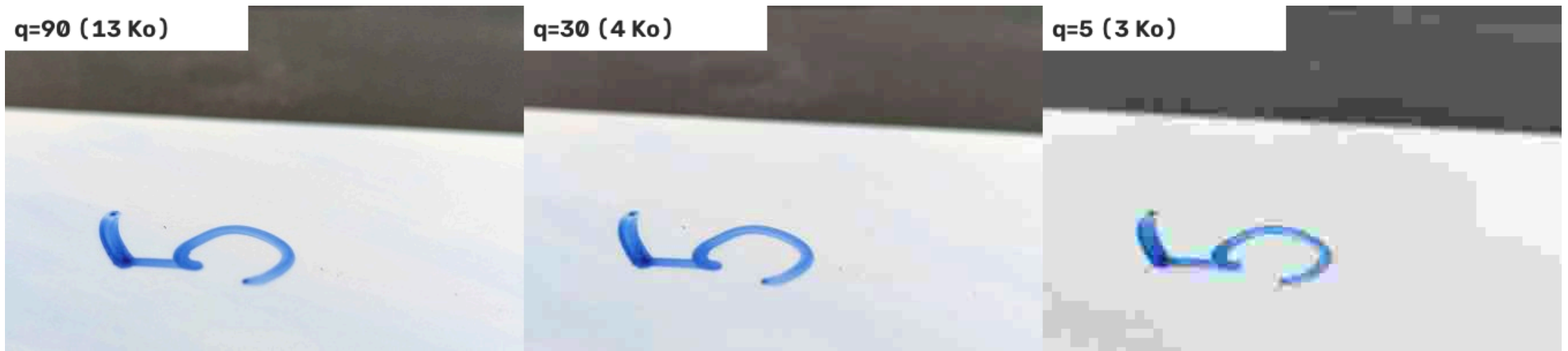
- Les images sont stockées sous forme de fichiers
- Les formats d'images les plus courants sont
  - JPEG (compression avec pertes)
  - PNG (compression sans pertes)

# Format JPEG

- JPEG = Joint Photographic Experts Group
- Compression avec pertes basée sur la DCT (Discrete Cosine Transform)
- L'image est découpée en blocs de 8x8 pixels
- Chaque bloc est transformé en fréquence
- Les fréquences les moins importantes sont supprimées
- MP3 pour un fichier audio



# Qualité JPEG et artefacts



Plus la qualité baisse, plus les blocs 8x8 et les halos autour des contours (chrominance dégradée) apparaissent.

# Format PNG

- PNG (Portable Network Graphics)
- Compression sans pertes
- Chaque ligne est d'abord **filtrée** : chaque pixel est prédit à partir de ses voisins (gauche, haut...) et on ne garde que l'écart
- Les écarts, souvent petits et répétitifs, sont compressés par DEFLATE (le même algorithme que ZIP)
- Adapté aux aplats, schémas et captures d'écran, moins aux photos

# Conteneurs vidéo

Les flux vidéo sont souvent encapsulés dans des conteneurs vidéo

Leur rôle est de regrouper les flux vidéo, audio, les sous-titres, les métadonnées.

- Pour du **stockage**, les conteneurs les plus courants sont :

**MP4** (MPEG-4 Part 14), **MKV** (Matroska), **AVI** (Audio Video Interleave), **MOV** (QuickTime)

- Pour du **streaming**, on utilise un conteneur adapté (**MPEG-TS** par exemple) transporté par un **protocole** :

**RTSP** (Real Time Streaming Protocol), **RTMP** (Real Time Messaging Protocol), **HLS** (HTTP Live Streaming),  
**WebRTC**

# Codecs vidéo

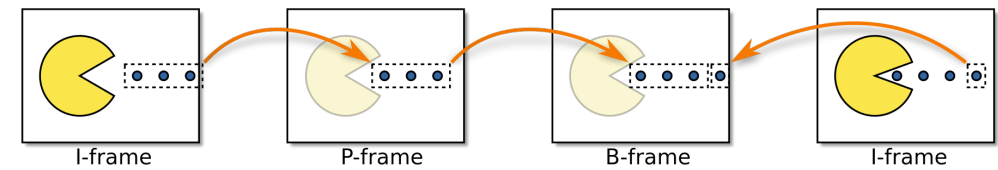
- Un codec est un algorithme de compression/décompression
  - Les plus courants sont : H.264, H.265 mais il en existe de nombreux autres
- Ne pas confondre avec x264, x265 qui sont des implémentations open-source de ces codecs

# Codec H.264

- H.264 est un codec vidéo datant de 2003 (H.265 arrive en 2013)
- C'est encore le codec **le plus couramment utilisé**
- Pour la robotique : bon compromis entre qualité, bande passante, charge CPU

# Principes de la compression H.264

- H.264 est un codec très efficace utilisé "partout"
- Compression **intra-image** et **inter-image**
- La compression intra-image est basée sur la DCT
- La compression inter-image est basée sur la prédiction de mouvement



Frame I : Intra / clé

Frame P : Prédite (à partir des images passées)

Frame B : Bi-directionnelle (passées et futures)

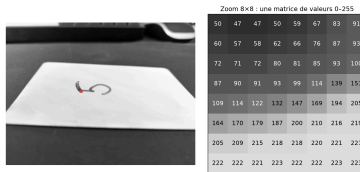
# Mises en garde

- Toute la chaîne de capture d'une image est importante : Capteur, objectif, réglages, compression
- La capture doit être adaptée à l'environnement (lumière, mouvement, distance)
- La compression doit être adaptée à l'usage (stockage, streaming, qualité, résolution, framerate, ...)
- Attention aux multiples conversions
  - Chaque conversion peut entraîner une perte de qualité
  - Si l'image captée est "bayerisée" des informations sont artificiellement ajoutées pour passer en RGB

# À retenir

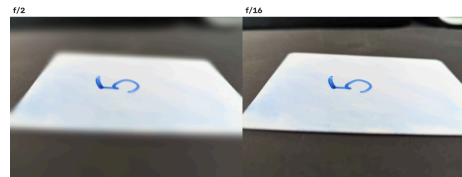
## 1. Une image n'est que des nombres

Choisir l'espace de couleur (RGB, HSV, Y'CbCr) selon le but : luminance, teinte ou couleur brute.



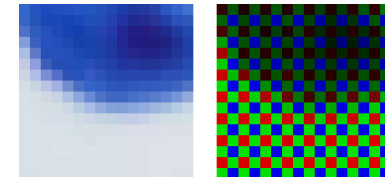
## 2. Tout réglage a un coût

Ouverture contre profondeur de champ, exposition contre flou, ISO contre bruit.



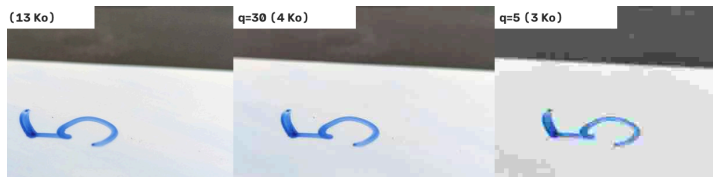
## 3. Le capteur ne voit pas tout

Filtre de Bayer : un photosite mesure une seule couleur, les deux autres sont interpolées.



## 4. Compresser, c'est choisir ce qu'on perd

JPEG jette des détails (DCT 8x8), PNG garde tout. En vidéo H.264 : frames I, P et B.



## 5. Une correction a un prix

Calibrer la distorsion redresse les lignes, mais l'image perd ses bords ou garde des bords noirs.



## 6. Garder la source, convertir une fois

Chaque conversion ou recompression dégrade : conserver l'image brute.

QUESTIONS ?