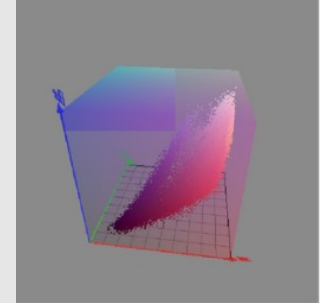
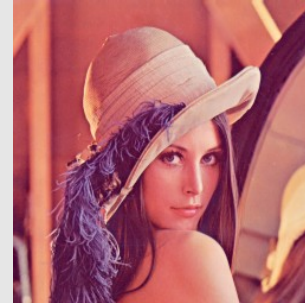


# Traitement d'Images

## Semaine 3 : discrétisation et quantification



# Plan du cours

## 1 – Échantillonnage

**échantillonnage temporel : cadence, période**

**échantillonnage spatial : grille, résolution, taille de l'image**

**échantillonnage spectral : images monochromes, couleur**

## 2 – Quantification

**quantification des mesures**

**quantification linéaire / non linéaire**

**bruit de quantification**

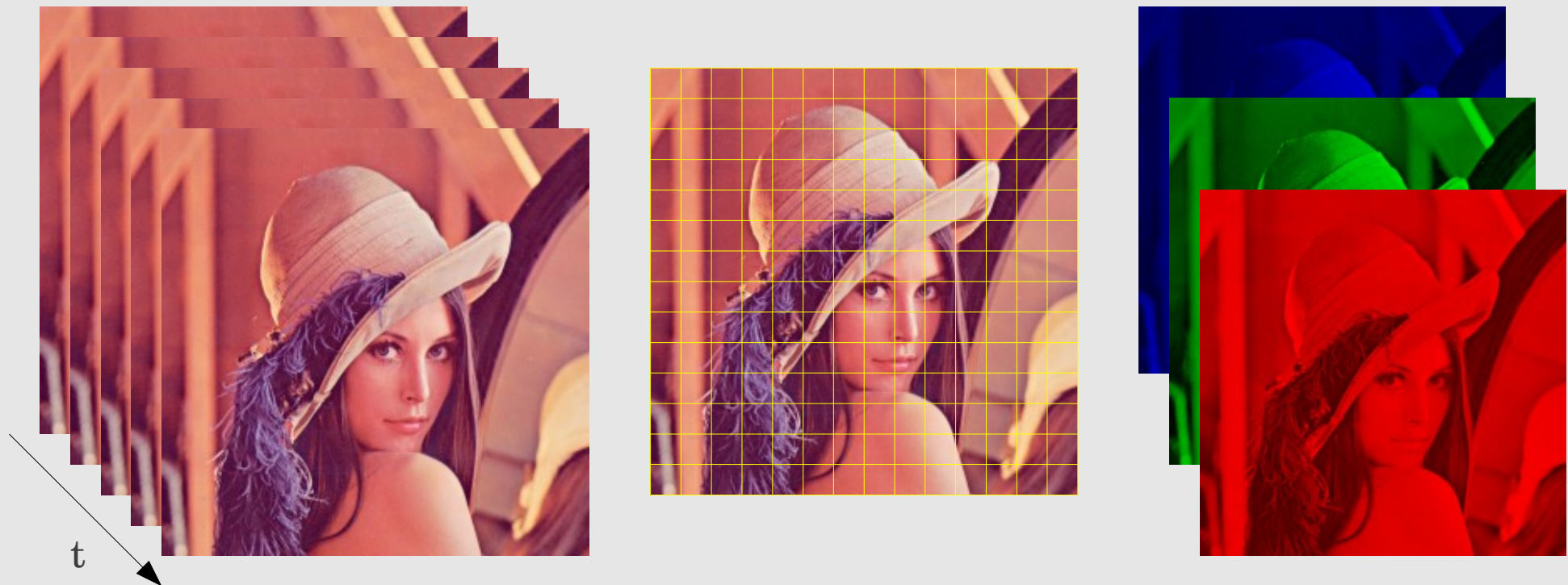
# Échantillonnage des images

## Plusieurs étapes d'échantillonnage

échantillonnage **temporel** : séquence d'images

échantillonnage **spatial** : grille de pixels

échantillonnage **spectral** : composantes de l'image



# Échantillonnage temporel (1/2)

## Cadence d'acquisition des images

on ne peut pas mesurer l'information lumineuse de façon **continue** dans le temps, donc on prend des **échantillons**.  
de ce fait, on mesure **périodiquement** l'information lumineuse.  
la **cadence** d'acquisition est l'**inverse** de la **période** d'acquisition.

## Exemple

cadence vidéo en France :  $25 \text{ images.s}^{-1}$ , période de 40 ms.

image 1



image 2



image 3

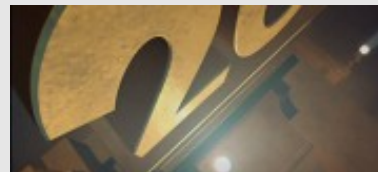
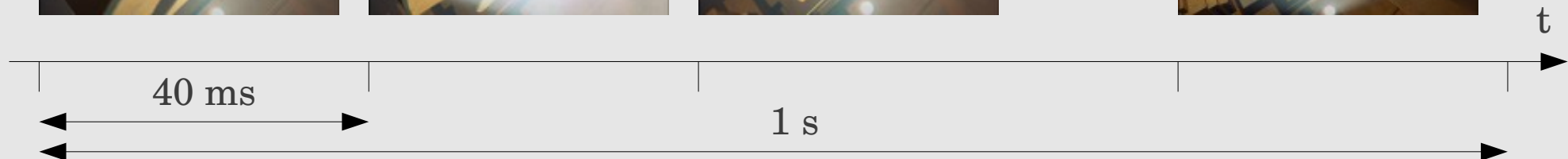


image 25



## Échantillonnage temporel (2/2)

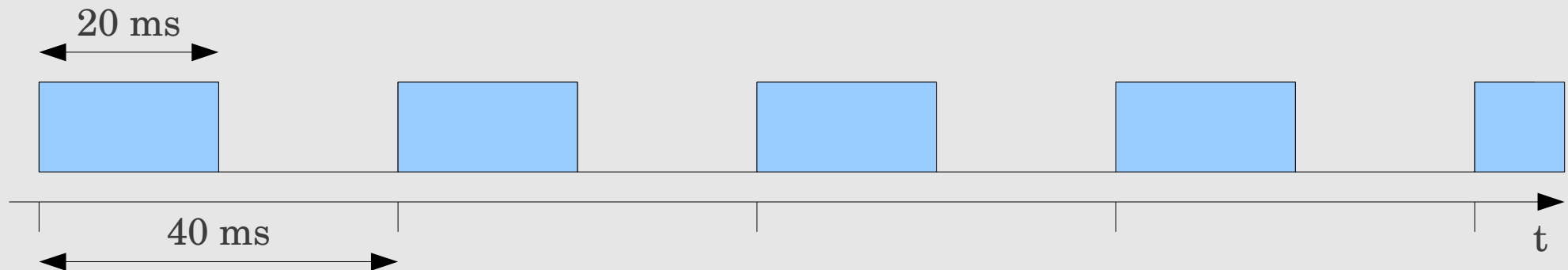
### Temps d'intégration

un capteur élémentaire devrait théoriquement mesurer **instantanément** le **flux énergétique** qu'il reçoit, c'est à dire l'énergie par unité de temps ( $W = J.s^{-1}$ ).

en pratique, un capteur mesure l'**énergie totale** (en J) qu'il reçoit pendant un **intervalle de temps** (en s) de durée non nulle, appelé **temps d'intégration**.

### Exemple

cadence d'acquisition = 25 im.s<sup>-1</sup>, temps d'intégration = 20 ms

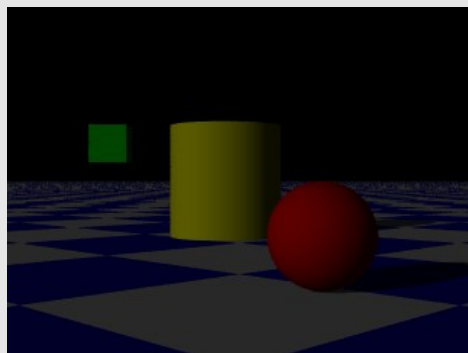


## Compromis sensibilité / flou de bougé

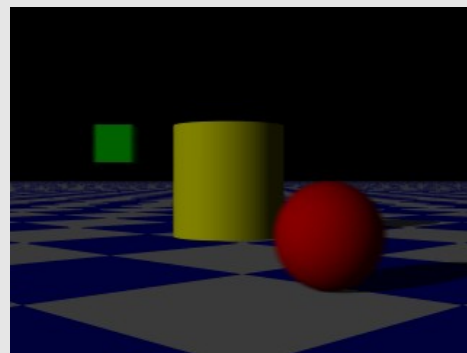
### Pourquoi ?

en **augmentant** le temps d'intégration, on améliore la **sensibilité**.  
si un objet **bouge**, son image bouge également sur le capteur.  
dans ce cas, le capteur accumule des mesures **non constantes**, ce  
qui entraîne un phénomène appelé **flou de bougé**.  
un **point mobile** apparaît comme une **ligne** dans l'image.

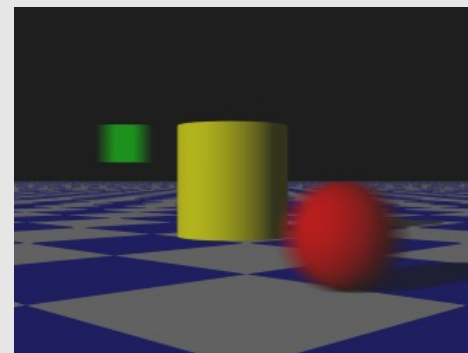
### Exemple



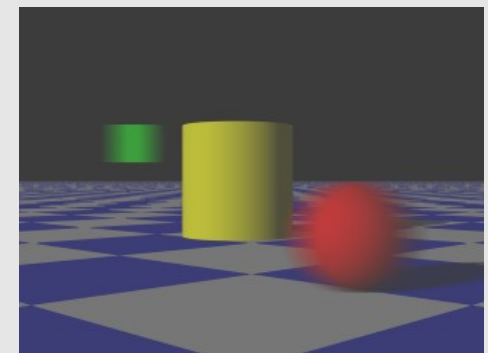
$t = 1 \text{ ms}$



$t = 10 \text{ ms}$



$t = 20 \text{ ms}$



$t = 30 \text{ ms}$



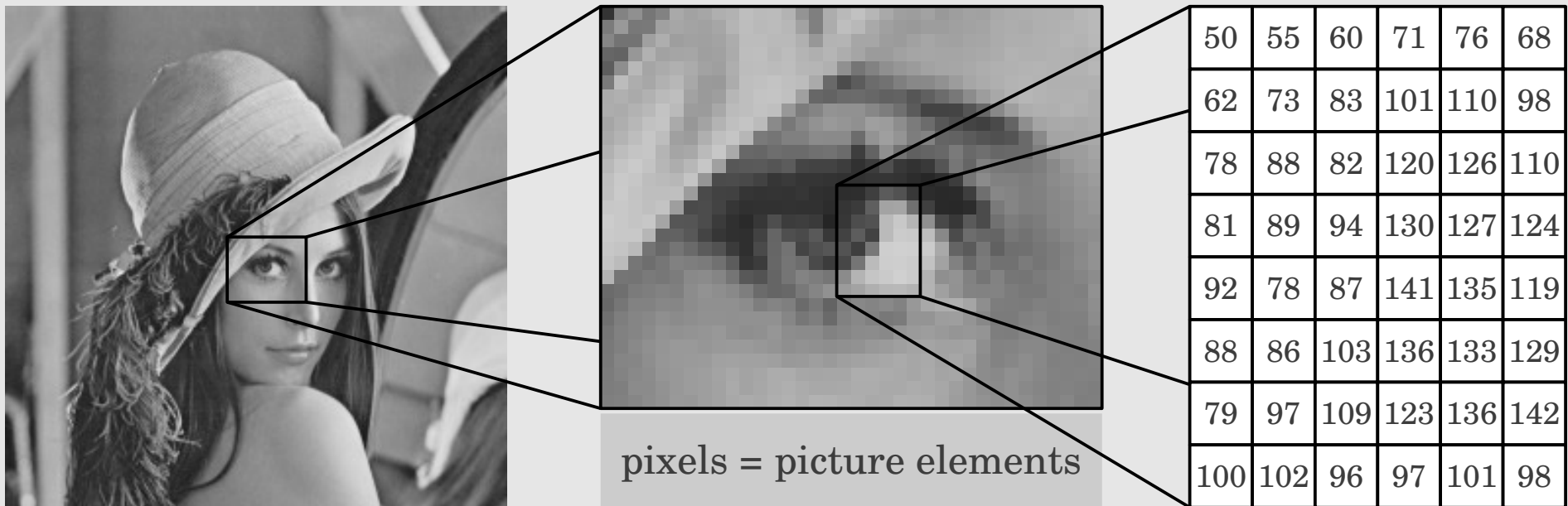
# Échantillonnage spatial

## Échantillonnage de la fonction image

**échantillonnage** en  $x$  et en  $y$  de la fonction, ne conserve que les valeurs pour les points  $(x,y) = (c.\Delta x, l.\Delta y)$  avec  $c, l$  entiers

**tableau** de valeurs  $I : \mathbb{Z}^2 \rightarrow \mathbb{R}^n, (c,l) \rightarrow I(c.\Delta x, l.\Delta y)$

### Exemple à 1 composante :

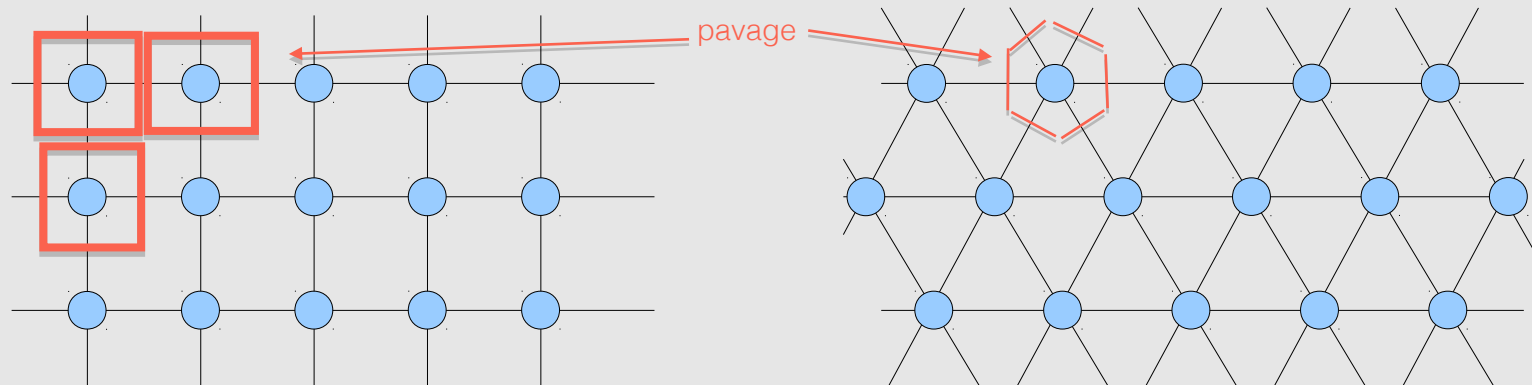


# Maillage et pavage d'échantillonnage

## Maillage

définit les **positions** auxquelles les échantillons ponctuels de l'image continue sont prélevés

**propriétés** du maillage : isotropie, périodicité, régularité



**Pavage = surfaces élémentaires associées au maillage**

à un maillage **carré** ou **rectangulaire** correspondent des pavés **carrés** ou **rectangulaires**

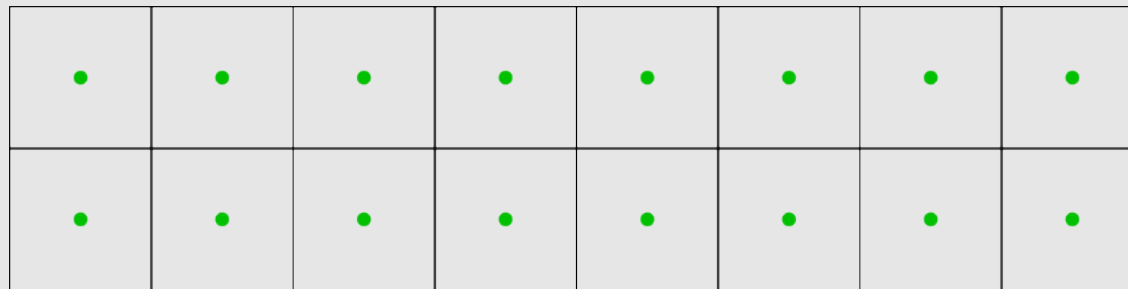
à un maillage **triangulaire** correspondent des pavés **hexagonaux**



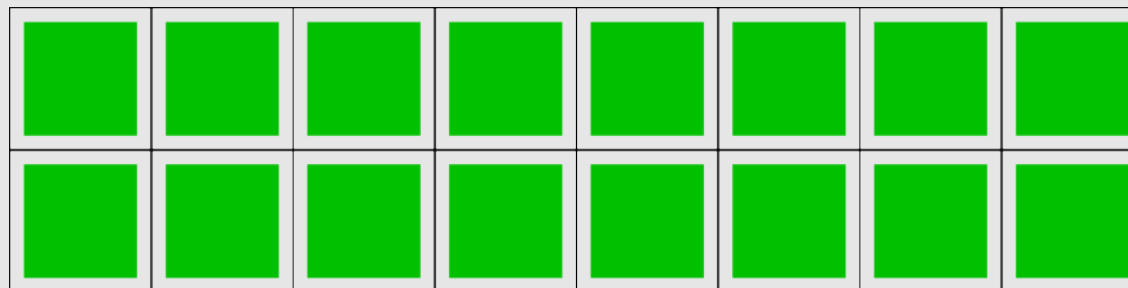
# Échantillonnage spatial et résolution (1/3)

## Échantillonnage spatial parfait vs. réel

**parfait** : la valeur d'un pixel est une mesure du **flux énergétique** reçu par un **point** sensible (de surface nulle) du maillage.



**réel** : la valeur d'un pixel est une mesure du flux énergétique reçu par un **pavé** sensible élémentaire. C'est le **produit** de l'**éclairement énergétique** par la **surface** du pavé.



## Échantillonnage spatial et résolution (2/3)

### Résolution d'une image

**nombre** de pixels par **unité de longueur**. La résolution s'exprime en  $\text{pixels.m}^{-1}$  (ou en  $\text{pixels.in}^{-1}$  dans les pays anglo-saxons).

la résolution est l'**inverse** du pas de la grille d'échantillonnage.

la résolution est le **rapport** du nombre de pixels divisé par la **dimension** du capteur.

### Périodicité, fréquence spatiale

au même titre que n'importe quelle fonction, une image peut être **périodique**.

périodicité selon une ou deux directions spatiales

**période spatiale** exprimée en nombre de pixels ou en unité de longueur (mètre ou pouces)

**fréquence spatiale** exprimée en **cycles/pixel** ou **cycle/unité** de longueur = inverse de la période spatiale

# Échantillonnage spatial et résolution (3/3)



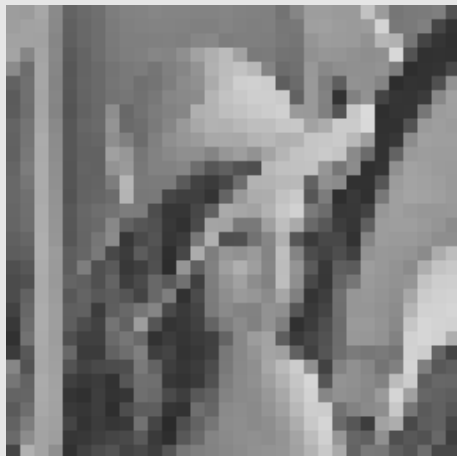
256 x 256



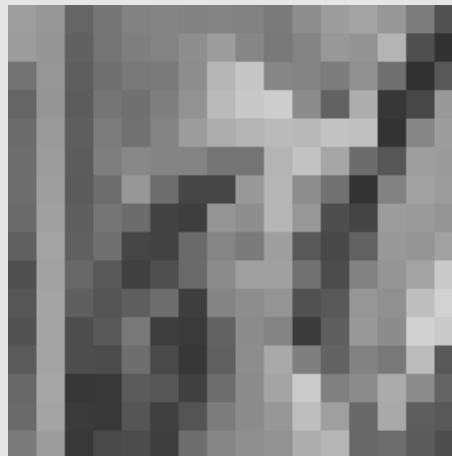
128 x 128



64 x 64



32 x 32



16 x 16



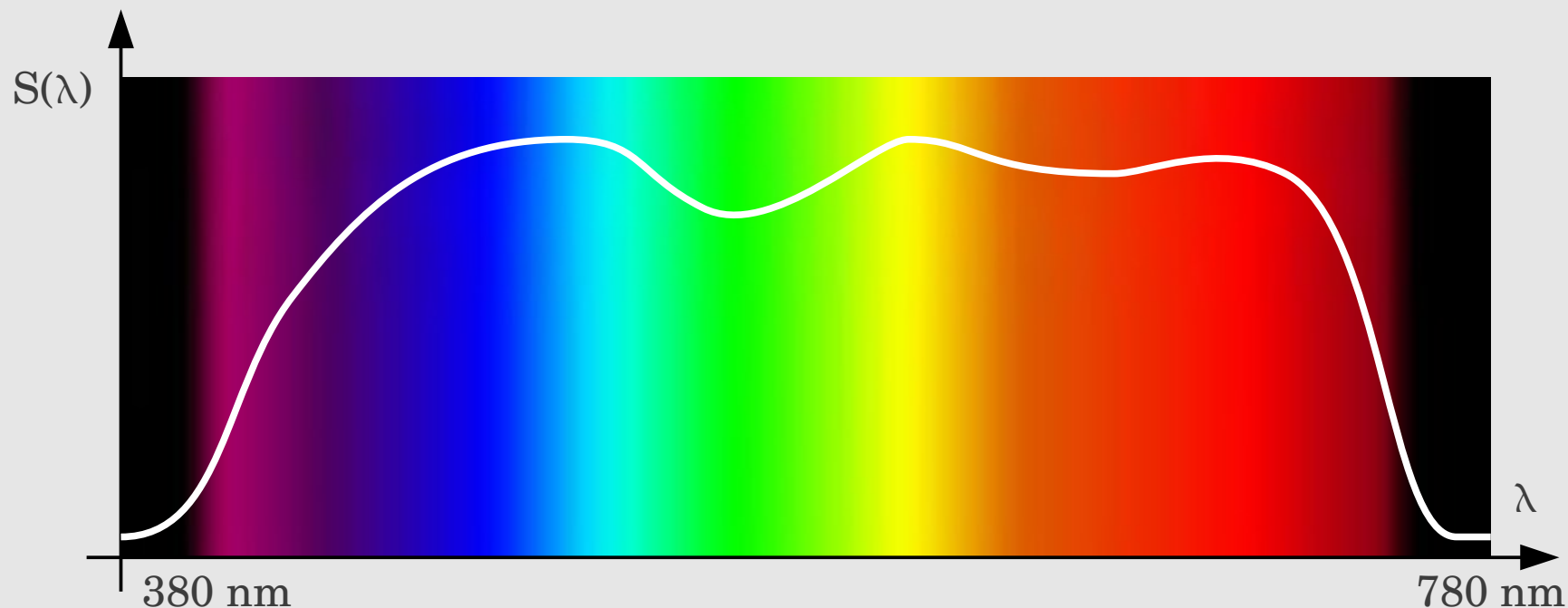
8 x 8

# Échantillonnage spectral : image monochrome (1/2)

## Image monochrome : 1 échantillon

pour chaque pixel on mesure le **flux énergétique total**, c'est à dire pour **toutes** les longueurs d'onde du spectre.

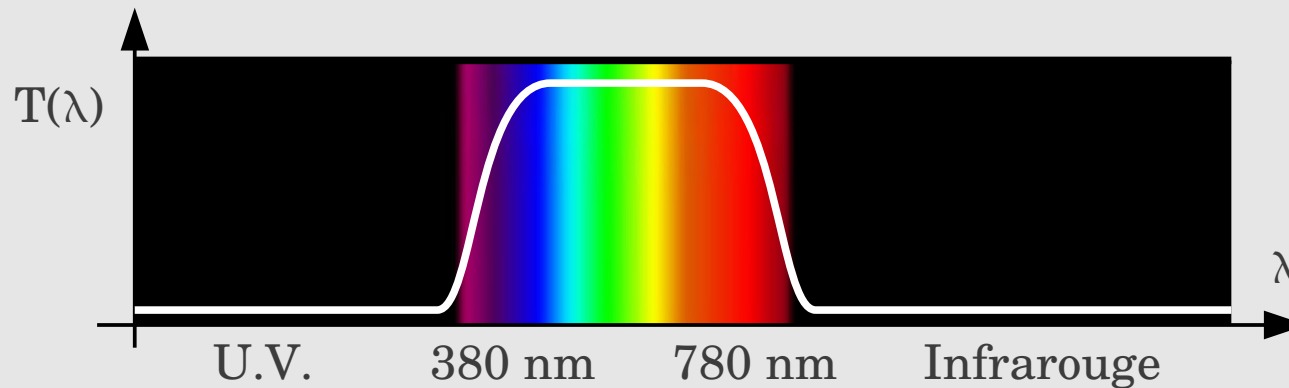
en pratique, un capteur monochromatique est caractérisé par une courbe de **sensibilité spectrale**.



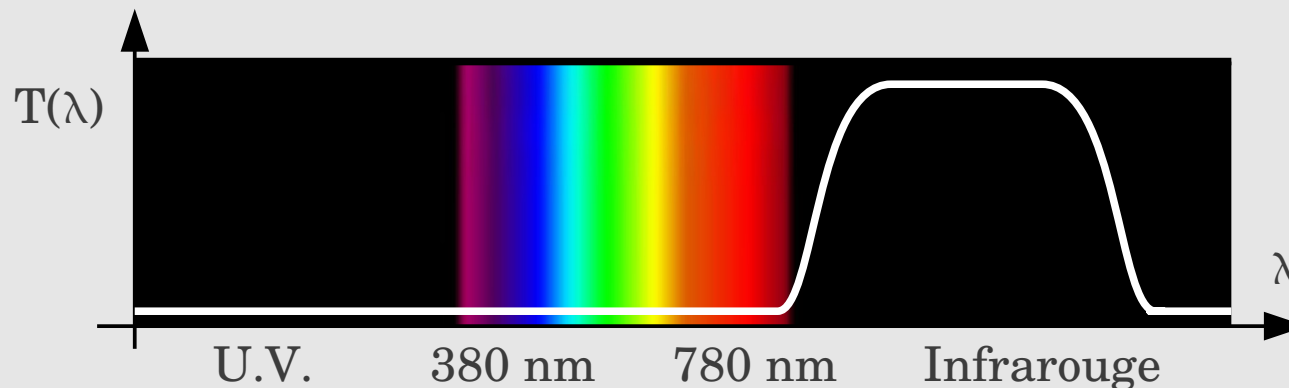
# Échantillonnage spectral : image monochrome (2/2)

## Insertion d'un filtre devant le capteur

les longueurs d'ondes de la lumière **traversant** le filtre sont plus ou moins **absorbées** et **transmises**. Le filtre est caractérisé par sa **courbe de transmission spectrale**.



**filtre visible :**  
image monochrome  
standard (N&B)

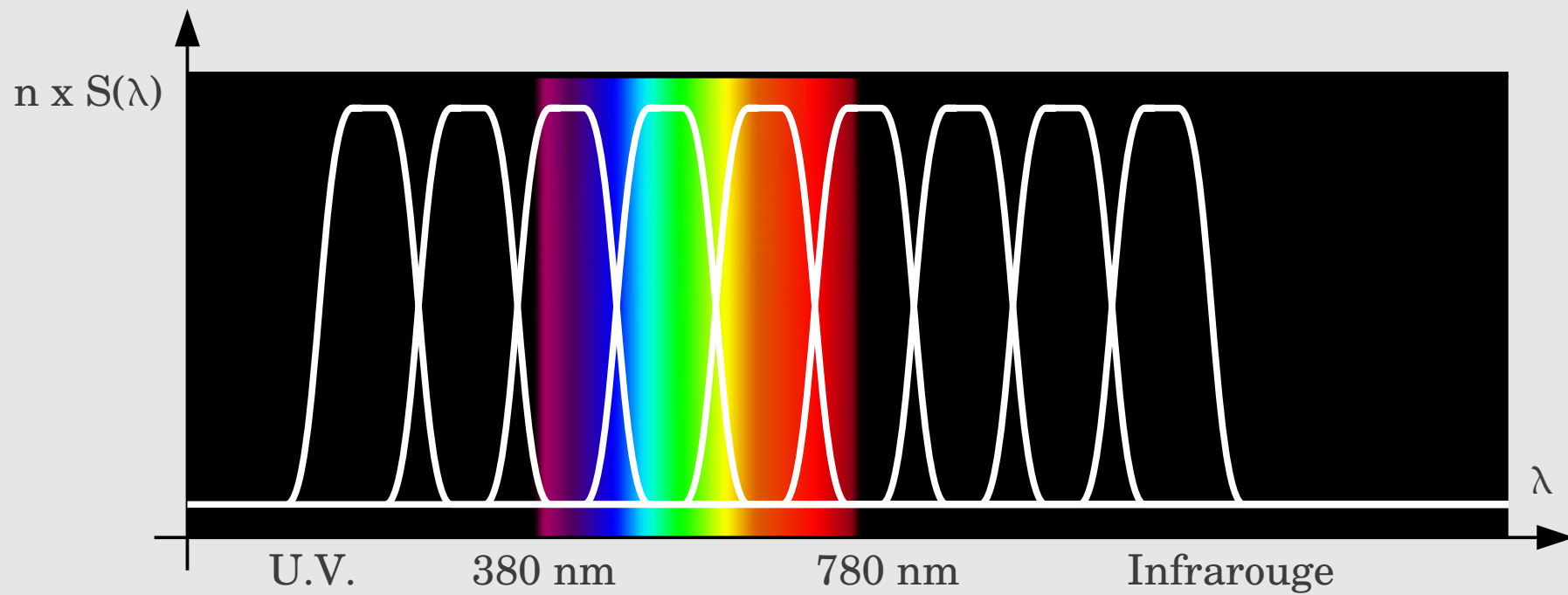


**filtre infrarouge :**  
proche ou lointain  
(thermique)

# Échantillonnage spectral : image hyperspectrale (1/2)

## Échantillonnage du spectre en n bandes

pour acquérir une **composante**, on utilise un capteur qui a une sensibilité spectrale correspondant à une **bande du spectre**.  
une composante est mesurée par l'intégrale du **flux énergétique monochromatique**, pondérée par la sensibilité spectrale.



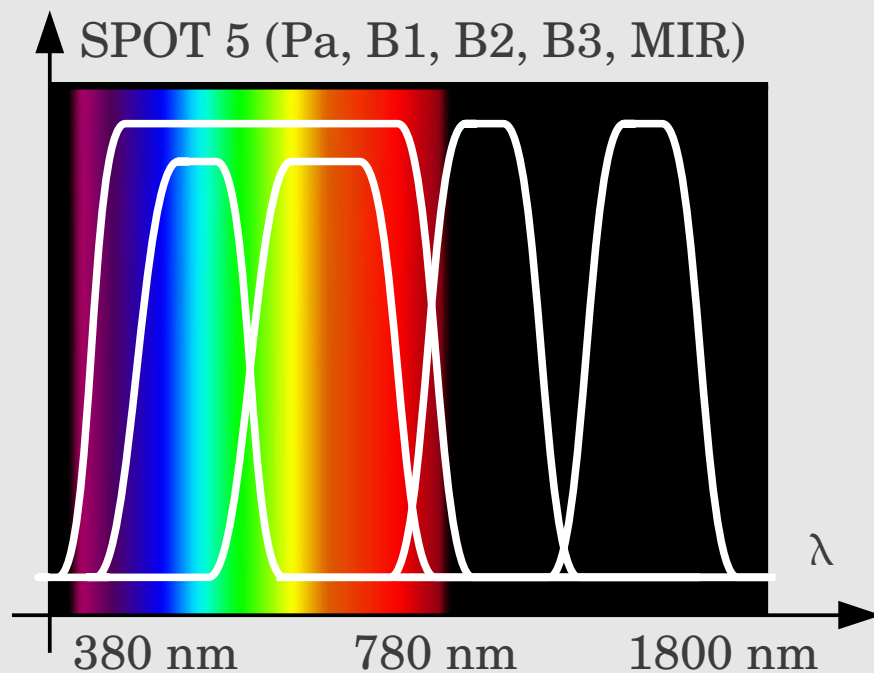


# Échantillonnage spectral : image hyperspectrale (2/2)

## Image multi-spectrale

les bandes sont en **nombre limité** et sont choisies parce que leurs longueurs d'ondes ont des propriétés particulières.

exemple : **imagerie satellitaire**, la surface de la terre est observée dans le visible et **l'infrarouge** (végétation)



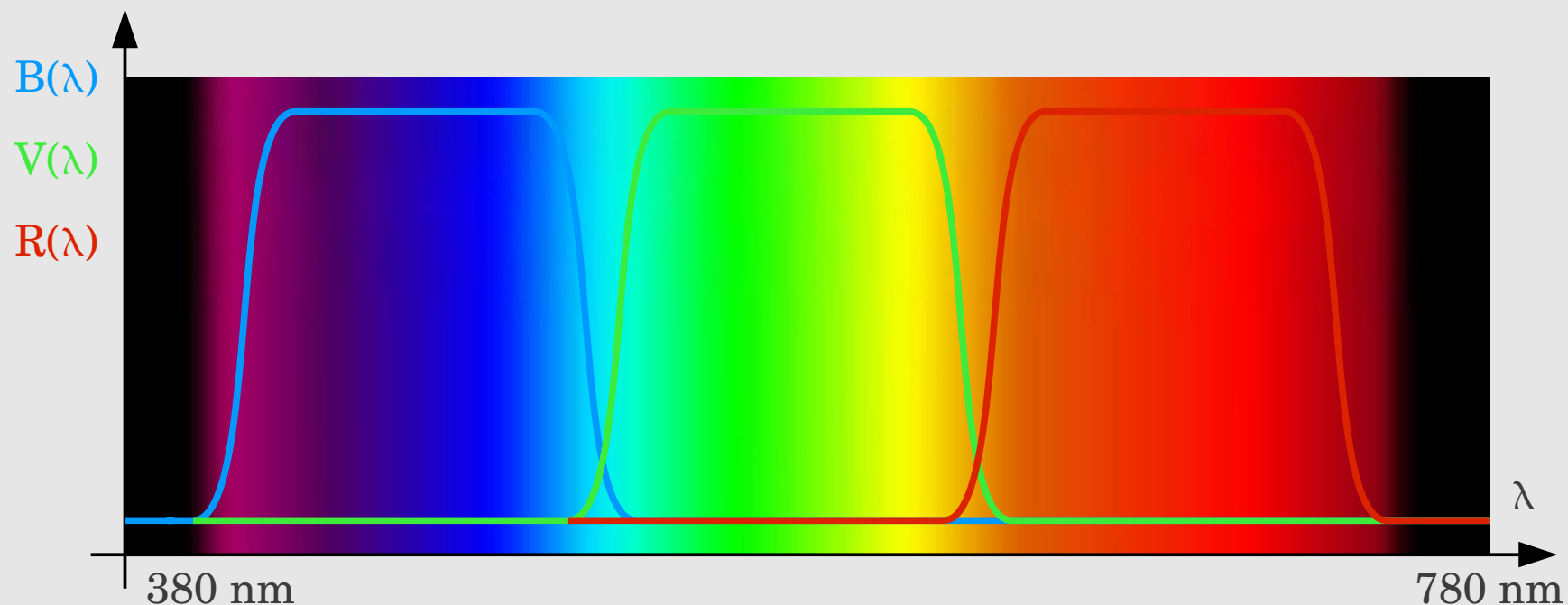


# Échantillonnage spectral : image couleur

## Image couleur, 3 composantes : Rouge, Verte, Bleue

on échantillonne le **spectre visible** dans trois bandes.

les trois bandes (rouge, verte, bleue) ont été sélectionnées afin de correspondre à la **vision humaine standard**.



# Color Filter Array (CFA)

## Interdépendance des échantillonnages

à chaque pavé correspond une composante chromatique  
arrangement de type **Bayer**

arrangement de type Bayer										colonne				
	0	1	2	3	4	5	6	7	....				Nc-1	
0	R	V	R	V	R	V	R	V			R	V	R	V
1	V	B	V	B	V	B	V	B			V	B	V	B
2	R	V	R	V	R	V	R	V			R	V	R	V
3	V	B	V	B	V	B	V	B			V	B	V	B
ligne														
....														
	R	V	R	V	R	V	R	V			R	V	R	V
	V	B	V	B	V	B	V	B			V	B	V	B
	R	V	R	V	R	V	R	V			R	V	R	V
Nl-1	V	B	V	B	V	B	V	B			V	B	V	B

# Numérisation des composantes : quantification

## Valeurs numériques

chaque valeur d'une composante de la fonction image est représentée par un **mot binaire**, codé sur un nombre fini de bits.  
pour un mot de  $m$  bits, la valeur varie entre 0 et  $2^m - 1$ .  
exemple : sur 8 bits, composantes entre 0 et 255.

## Taille des données image

dimensions du support :  $N_x$  pixels sur  $N_y$  lignes.  
nombre de composantes :  $n$ , nombre de bits de quantification :  $m$   
→ taille en bits =  $N_x \cdot N_y \cdot n \cdot m$

## Exemples:

image monochrome binaire  $256 \times 256$  : 65.536 bits = 8 Ko

image spot  $2048 \times 2048$ , 4 canaux, 12 bits : 201.326.592 bits = 24Mo

# Effet de la quantification sur le rendu visuel



256 niveaux



64 niveaux



16 niveaux



8 niveaux



4 niveaux



2 niveaux

## Fonction de quantification

### Passage d'une valeur continue à une valeur discrète

**fonction** de quantification : définie sur  $\mathbb{R}$  à valeurs dans  $\mathbb{Z}$   
en général monotone, très souvent **croissante**  
modélisée par la combinaison d'une **fonction de transfert** suivie  
d'une quantification **uniforme**

### Fonction de transfert

définit une **transformation** de la mesure : sur  $\mathbb{R}$  à valeurs dans  $\mathbb{R}$   
en général : **linéaire** ou fonction **gamma**

### Quantification uniforme

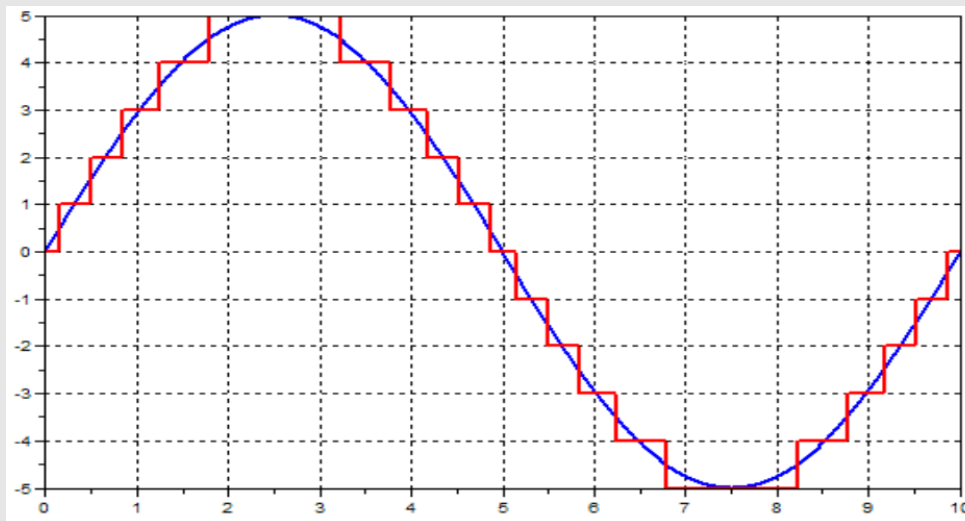
définition d'une valeur **minimale** et d'une valeur **maximale** de la  
fonction de transfert

**n** valeurs discrètes pour coder le résultat final

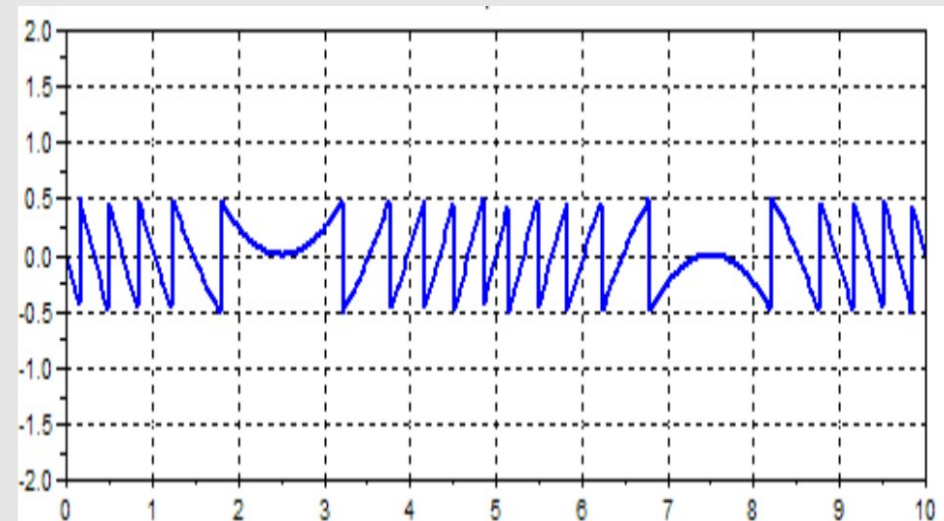
# Erreur de quantification

## Erreur commise sur la représentation

différence entre la valeur **mesurée** et la valeur obtenue par **pseudo-inversion** de la fonction de quantification  
considérée en général comme un **bruit** qui s'ajoute à la valeur mesurée  
varie comme **l'inverse** du nombre d'intervalles de quantification



valeur mesurée / valeur quantifiée



erreur de quantification