

Chapitre 1 : Introduction

INF600F - Traitement d'images

Joël Lefebvre

UQÀM

INF600F - Automne 2024

Survol du cours

- ① D'où proviennent les images ?
- ② Perception : Œil, vision et illusions
- ③ Formation des images numériques

Annonces

- Atelier pratique avec Étienne ce vendredi
- Formation des équipes pour les travaux pratiques
- TP1 en ligne la semaine prochaine
 - Activité pour la formation d'équipe (2 maximum)
 - Remise sur Moodle

Références

- (Chityala2020) Chapitre 3 : *Image and Its Properties*
- (Burger2009) Chapitre 1 : *Digital Images*
- (Gonzalez2018) Chapitre 1 : *Introduction*
- (Gonzalez2018) Chapitre 2 : *Digital Image Fundamentals*

Section 1

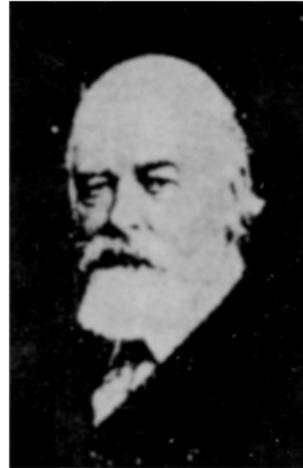
D'où proviennent les images ?

Années 1920 : transmissions terrestres

- **1921** : Première retransmission par **télégraphe transatlantique** par câble sous-marin entre Londres et New York (*Bartlane system*)
- **1922** : Nouvelle méthode d'impression en **5 niveaux de gris**
- **1929** : Amélioration à **15 niveaux de gris**.



1921



1922

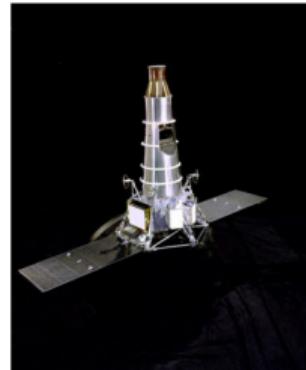


1929

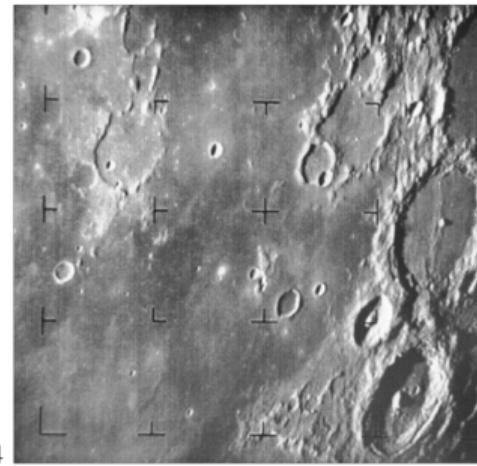
Années 1960 : transmissions spatiales

- Premier **ordinateur** suffisamment puissant pour réaliser des tâches de traitement d'images.
- Sonde **Ranger 7** pour corriger différentes **déformations** et **artefacts** causés par la caméra de télévision dans la sonde.
- Image prise 17 minutes avant d'alunir, le **31 juillet 1964**.

Ranger 7 ([NASA](#))



1964



Situation présente

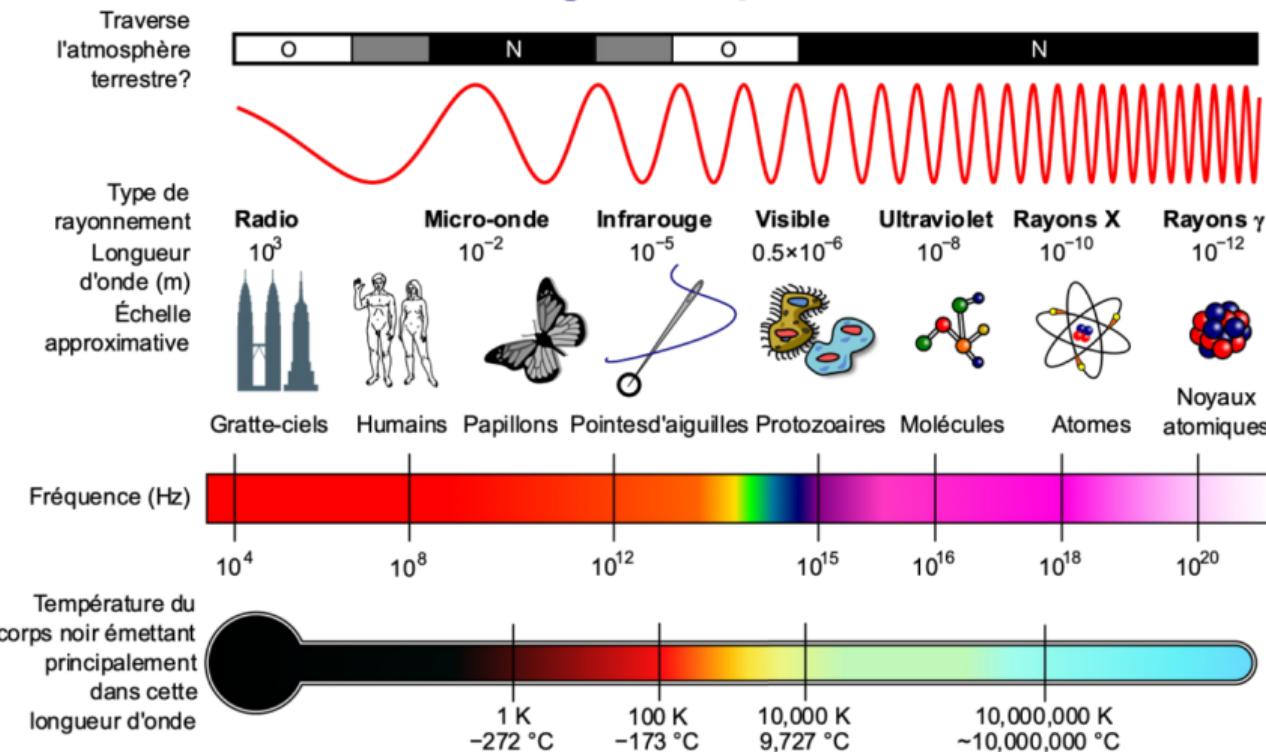
- Nombreux types d'images numériques
 - Noir et blanc / couleur
 - Bidimensionnelles (2D) / tridimensionnelles (3D)
- Origines diverses
 - Mesure directe (ex. photographie numérique)
 - Images reconstruites (ex. tomographie)
 - Images de synthèse
- Applications multiples
 - Médecine
 - Astronomie
 - Inspection
 - Géographie / Planification
 - etc.

Plusieurs modalités d'imagerie

- Chaque **modalité** exploite des mécanismes physiques différents

Ondes électro-magnétiques	Autres ondes	Particules	Champs quasi statiques
Onde radio	Ondes sismiques	Neutrons	Champs géomagnétiques
Micro-ondes	Ondes aquatiques	Protons	Champs biomagnétiques
Infrarouge	Ultrasons	Ions (ex. électron)	Champs bioélectriques
Lumière visible	Ondes de Broglie	Rayons X durs	Impédance électrique
Ultraviolet	etc.	etc.	etc.
Rayons X mous			

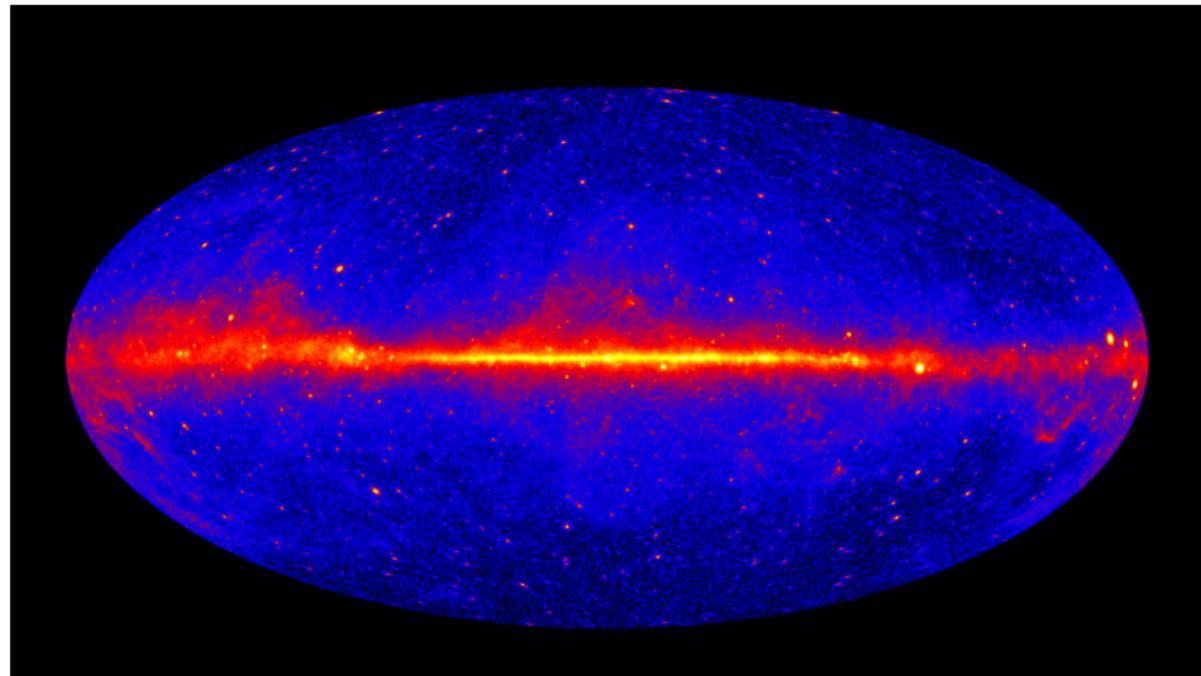
Rayonnement électromagnétique



Wikimedia

Imagerie du rayonnement Gamma

- Astronomie
- Médecine
- Imagerie SPECT



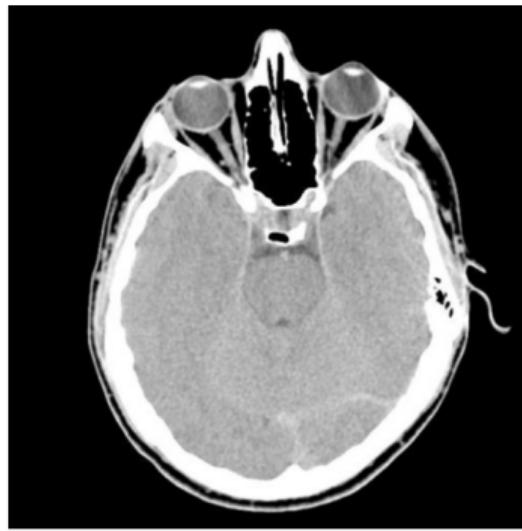
Carte du ciel (Gamma) réalisée par le satellite Fermi ([NASA](#))

Imagerie par rayons X

- Médecine
- Autres applications (contrôle non destructif, astronomie ...)



Radiographie



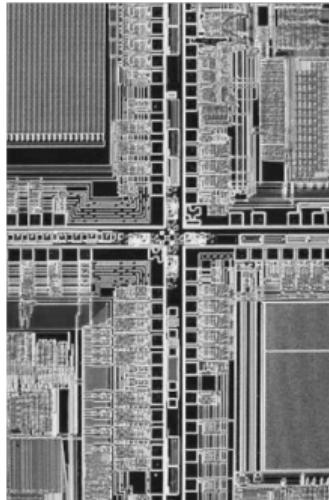
Tomographie



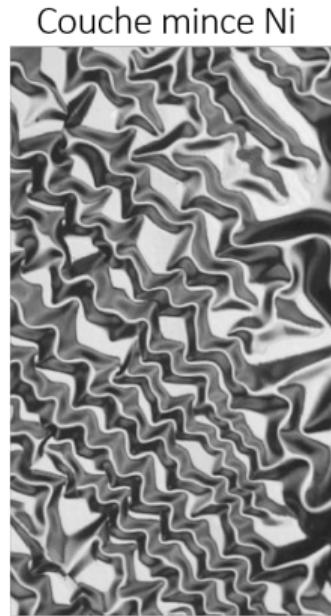
Angiographie

Imagerie dans la bande visible (1)

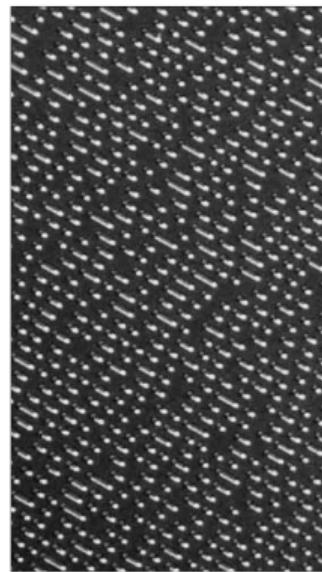
- Applications très nombreuses (ex. : Microscopie)



Microprocesseur



Couche mince Ni



Surface CD audio

(Gonzalez & Woods, 2008)

Imagerie dans la bande visible (2)

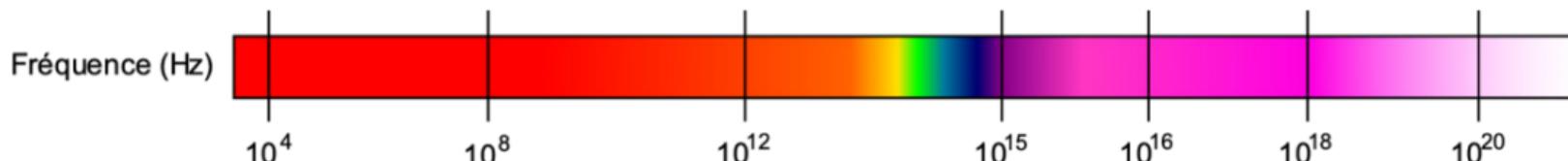
- Ex. : Surveillance, photographie, biométrie, cartographie ...



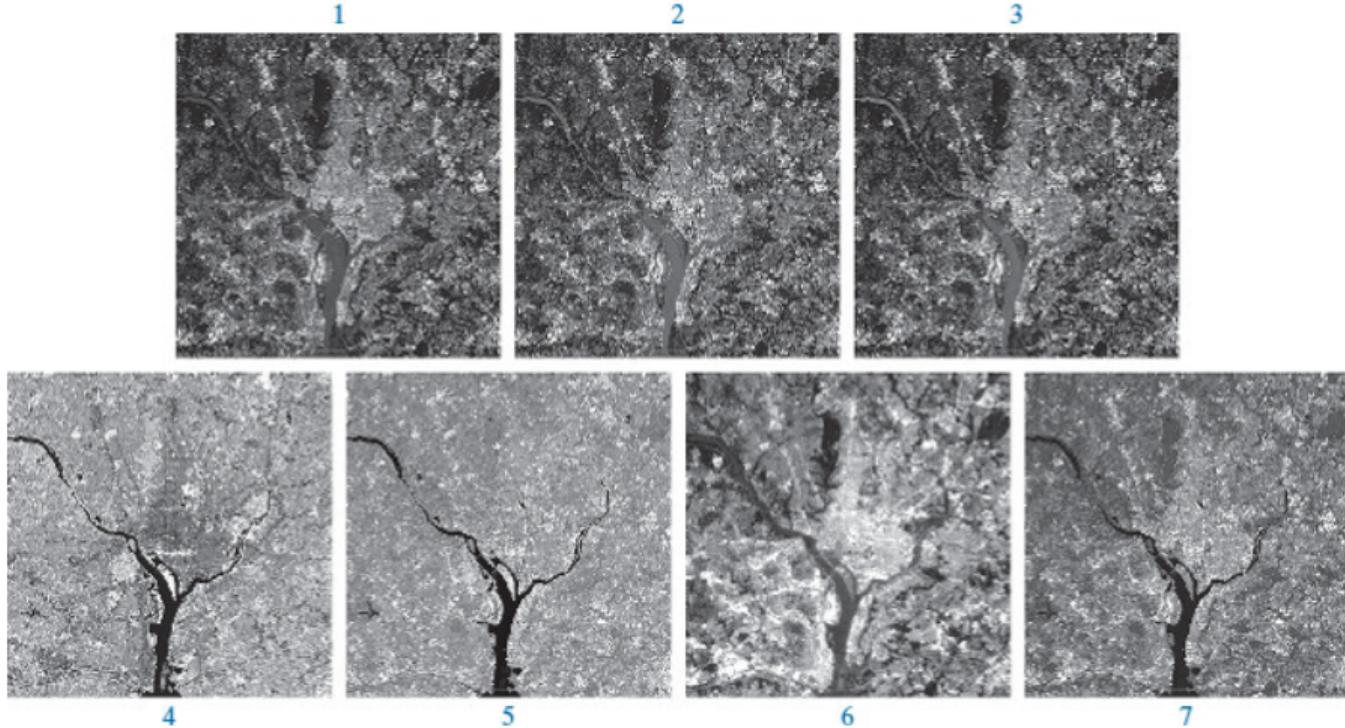
Reconnaissance automatique de plaques d'immatriculation (Gonzalez, 2008)

Bandes spectrales du satellite LANDSAT (NASA)

# bande	Nom	Longueur d'onde (μm)	Caractéristiques et utilisations
1	Bleu visible	0.45-0.52	Pénétration maximale dans l'eau
2	Vert visible	0.53-0.61	Mesure la vigueur des plantes
3	Rouge visible	0.63-0.69	Discrimination de la végétation
4	Proche infrarouge	0.78-0.90	Biomasse et cartographie des berges
5	Moyen infrarouge	1.55-1.75	Contenu en humidité : sol / végétation
6	Infrarouge thermique	10.4-12.5	Humidité du sol, cartographie thermique
7	Infrarouge onde courte	2.09-2.35	Cartographie minérale



Exemple : LANDSAT de la NASA

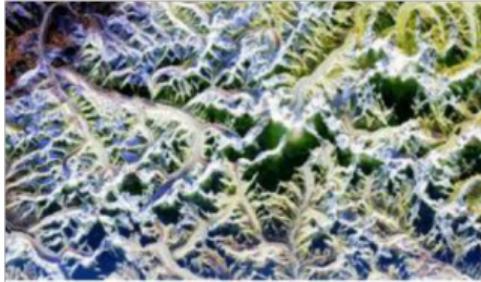


Imagerie satellite multibande de la ville de Washington DC (NASA, Gonzalez 4e)

Imagerie par micro-ondes

- SAR : *Synthetic Aperture Radar*
- Autres applications : Météorologie, médecine ...

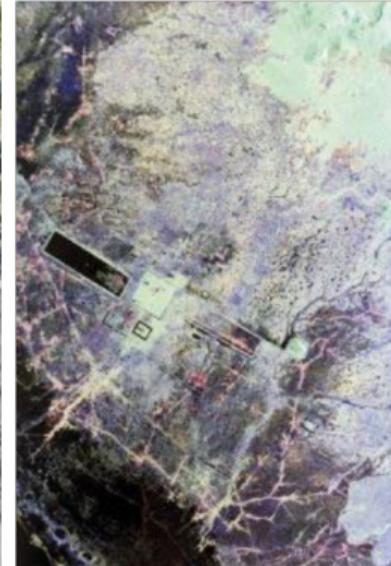
Source : NASA



Mont Everest



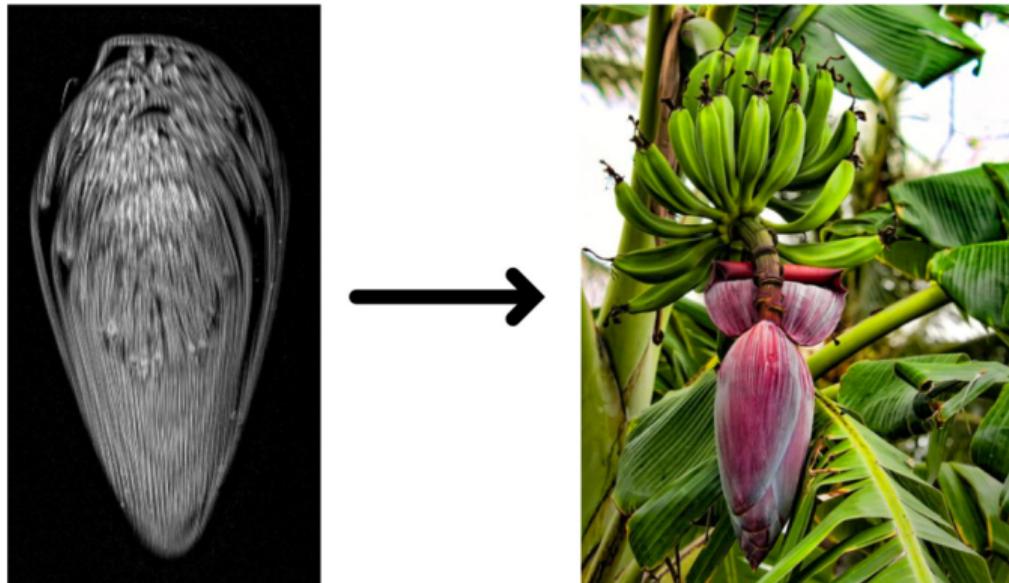
Temple d'Angkor



NASA

Imagerie dans la bande radio

- **Exemple** : Imagerie par résonance magnétique (IRM, MHz)
- <https://insideinsides.blogspot.com/>

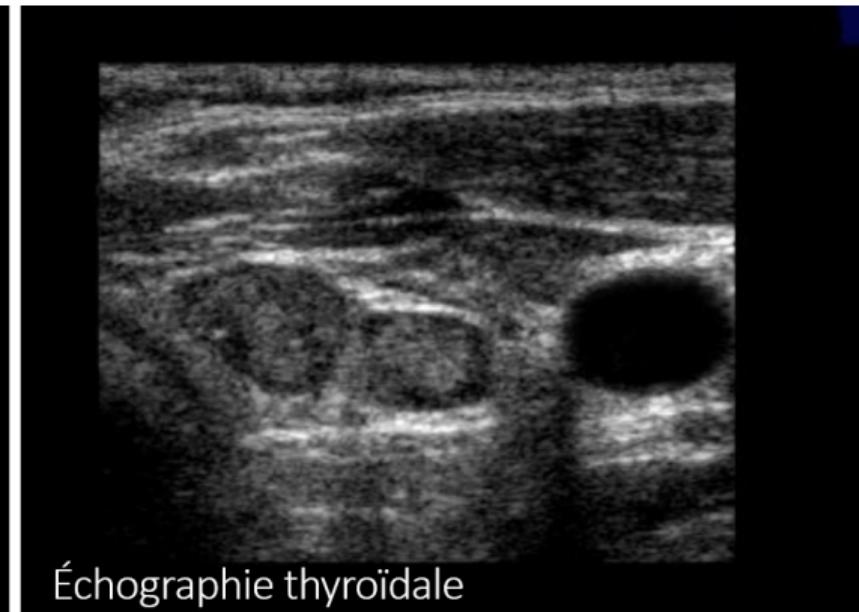


IRM d'une fleur de bananier

Imagerie par ultrason



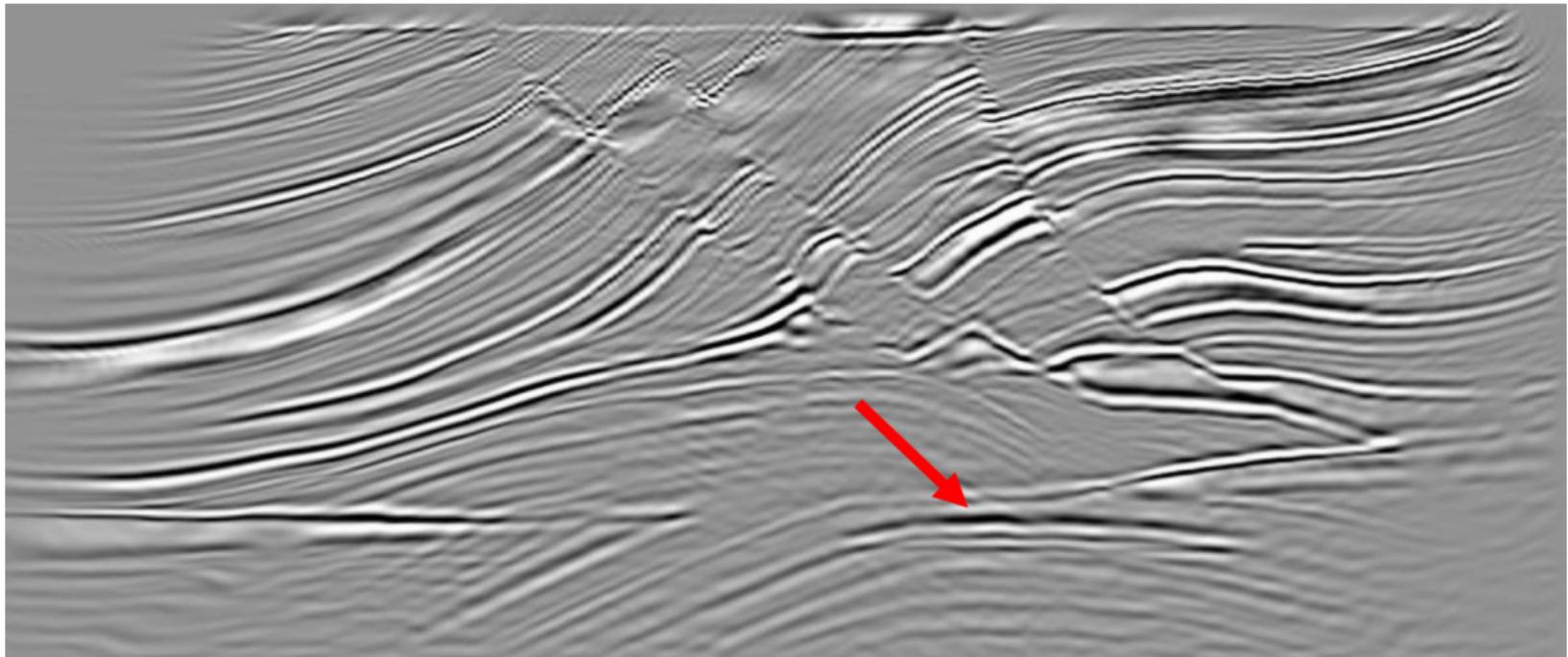
Foetus



Échographie thyroïdale

Échographies ultrasonores (Gonzalez,2008)

Imagerie des ondes sismiques

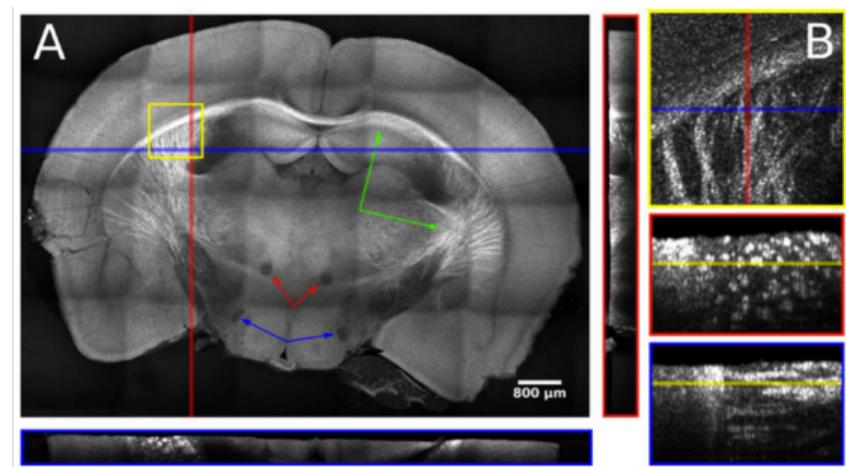
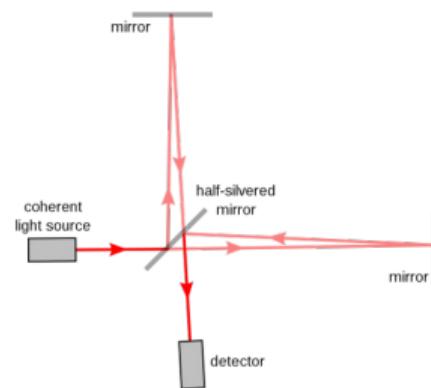


La flèche pointe une réserve d'hydrocarbone (huile et/ou gaz). (Gonzalez, 2008)

Tomographie par cohérence optique (OCT)

- Basé sur un interféromètre de Michelson
- Tomographie : nécessite une reconstruction pour obtenir les images
- « Analogue optique de l'ultrason »

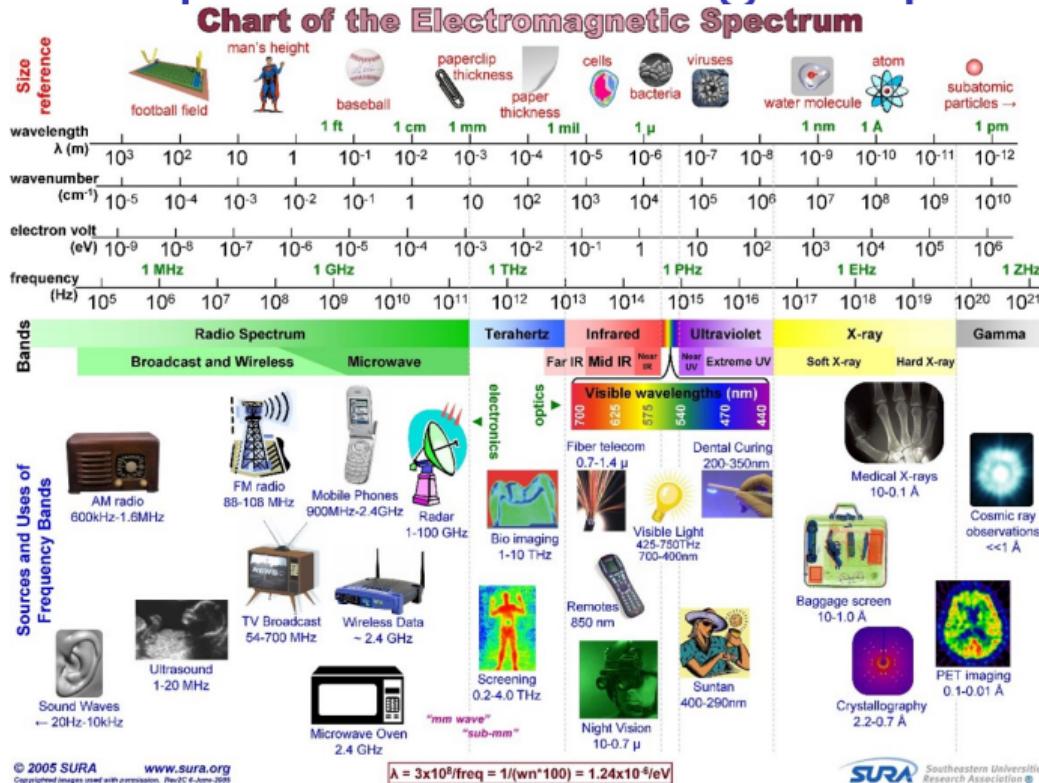
Interféromètre de Michelson ([Wikipedia](#))



Cerveau de souris imité par OCT ([Lefebvre, 2017](#))

Exemple de volume OCT

Utilisations du spectre électromagnétique



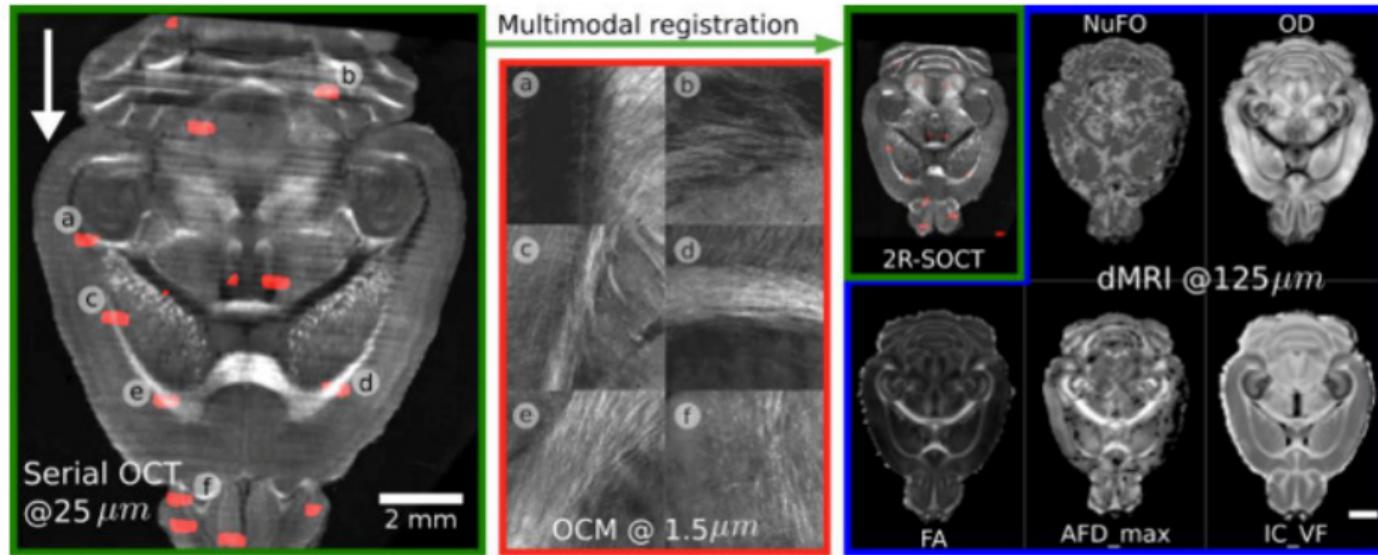
sura.org

Combinaison de plusieurs sources

- **Imagerie « multi physique »**
 - Tomographie optique / ultrasonore
 - Tomographie à micro-ondes / ultrasonores
- **Imagerie multimodale**
 - Combinaison de modalité
 - Tomographie à rayons X / imagerie gamma
 - Tomographie à rayons X / IRM
 - Tomographie en cohérence optique (OCT) / IRM
 - Fusion d'images
- **Difficulté** : recalage d'images (*Comment les aligner ?*)

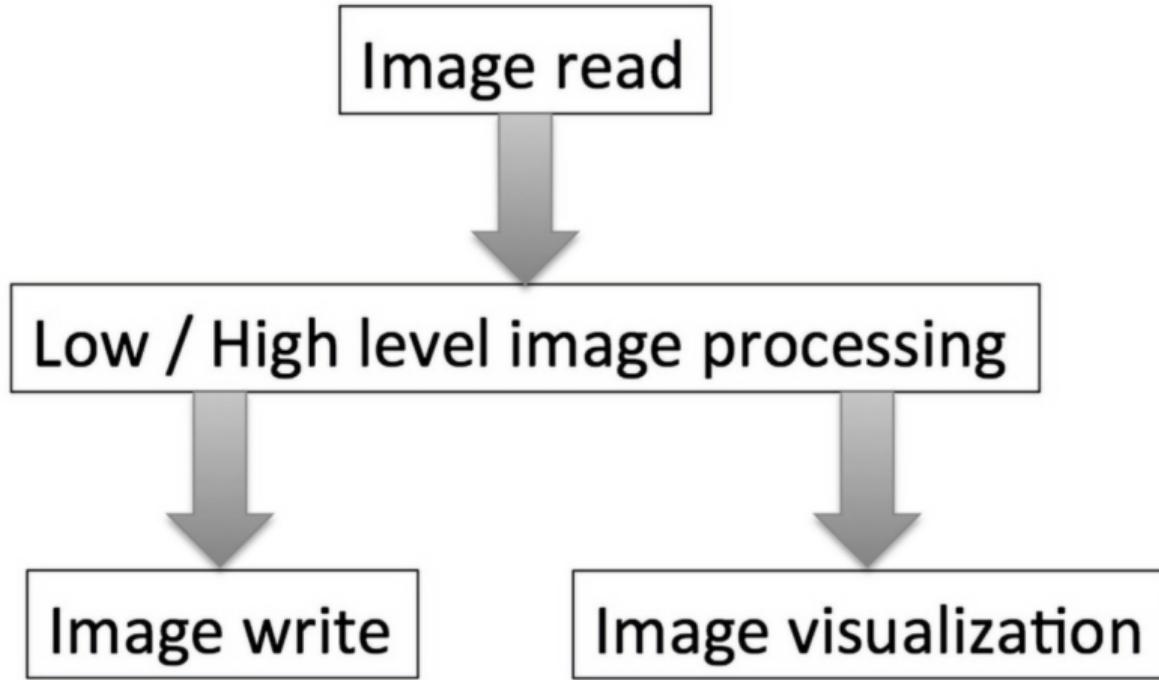
Exemple d'imagerie multimodale

- **Modalité optique** : OCT (Matière blanche, noyaux cellulaires)
- **Modalité IRM** : IRM de diffusion (Matière blanche)



(Lefebvre, 2018)

Pipeline de traitement (simplifié)



(Chityala,2020)

Traitement d'images de bas / haut niveau

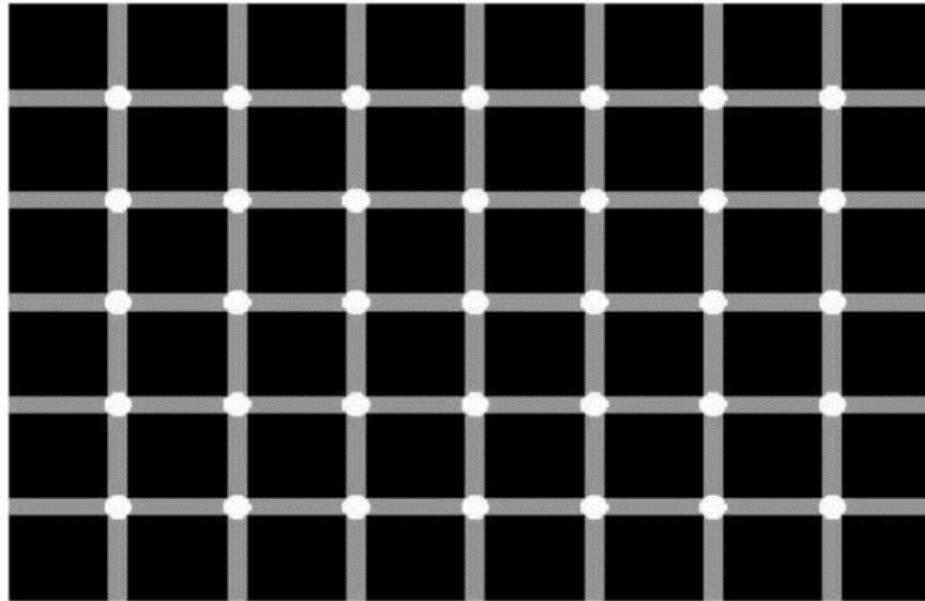
- **Mesures et acquisition** (ex. : échantillonnage, quantification)
- **Traitements « élémentaires »**
 - Manipulation et présentation d'images
 - Amélioration et filtrage, dans les domaines spatial et fréquentiel
- **Traitements complexes, formation d'images**
 - Restauration d'images, reconstruction tomographique
- **Analyse d'images**
 - Traitements multirésolutions
 - Codage d'images, compression
 - Segmentation d'images
 - Reconnaissance de formes et classification

Section 2

Perception : Œil, vision et illusions

Phénomènes liés au fonctionnement de l'œil

- **Exemple :** Grille d'Hermann



Contraste simultané (Source : P. Cohen)

Phénomènes liés au fonctionnement du cerveau

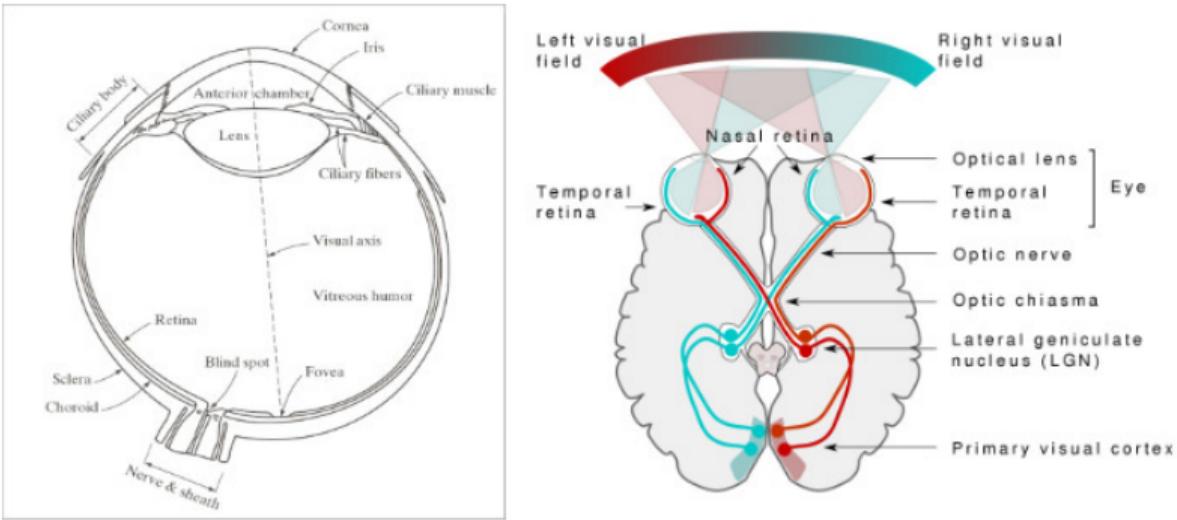
- Nécessite des notions sur la vision humaine de la perception



Contours virtuels (Source : P. Cohen)

Système visuel humain

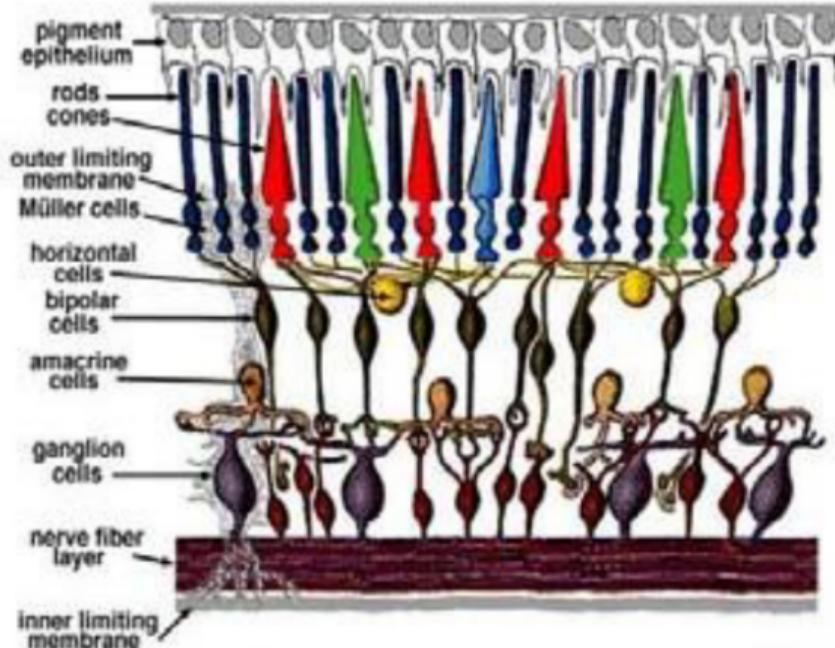
- Composantes principales :
 - Œil
 - Rétine
 - Nerf optique
 - Cortex visuel



(Gonzalez,2008) et [Wikipedia](#)

Rétine

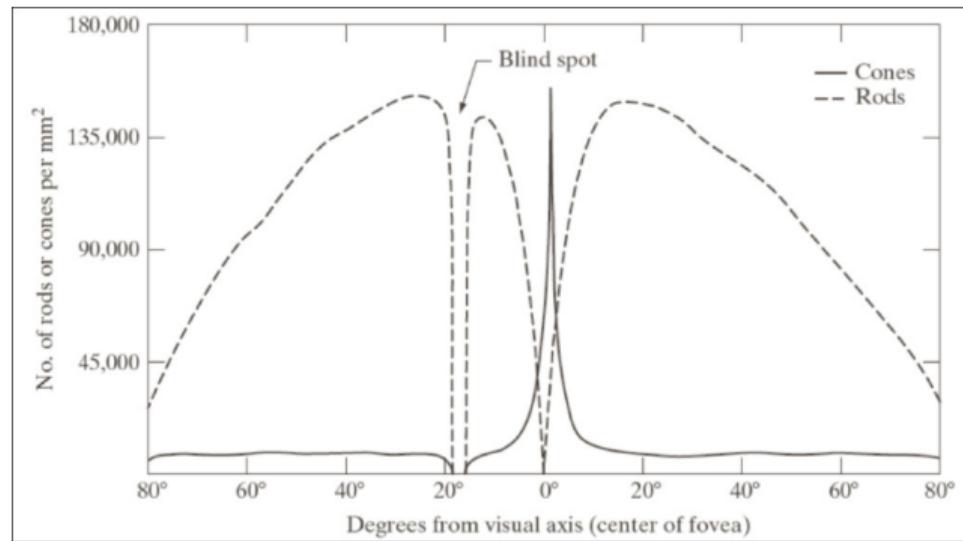
- Constituée d'environ 130 millions de **cellules photoréceptrices**
- 2 types de cellules
 - Cônes** (6 à 7 millions, couleur)
 - Bâtonnets** (monochrome)
- Répartition **non uniforme**



Source : P. Cohen

Cônes et bâtonnets

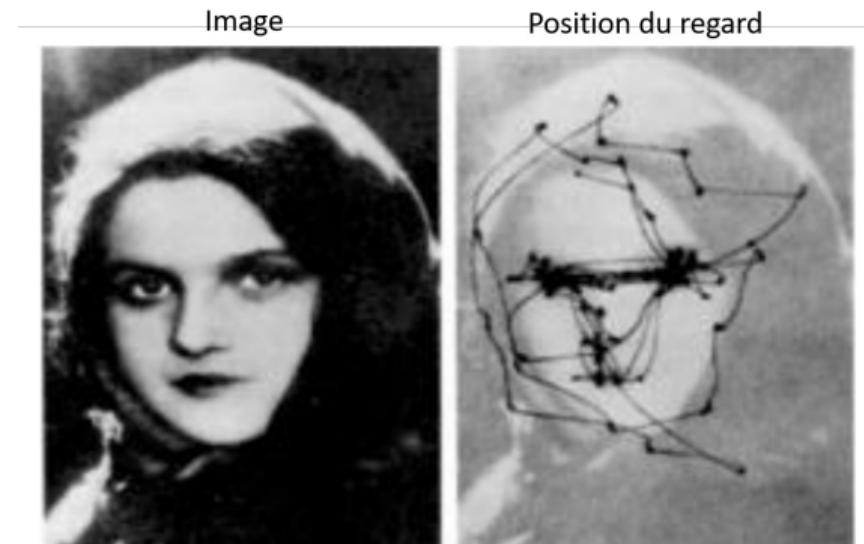
- Distribution **non uniforme** sur la rétine
- Explique l'importance des **microsaccades** pour une perception visuelle complète



(Gonzalez, 2008)

Mouvements de l'œil

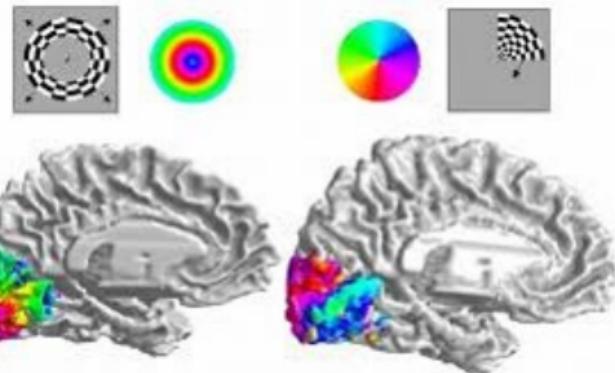
- Types de mouvements
 - Mouvements lents
 - Microsaccades (≈ 150 Hz)
- Cortex visuel
 - Reconstruction de scène
 - Reconnaissance de primitives



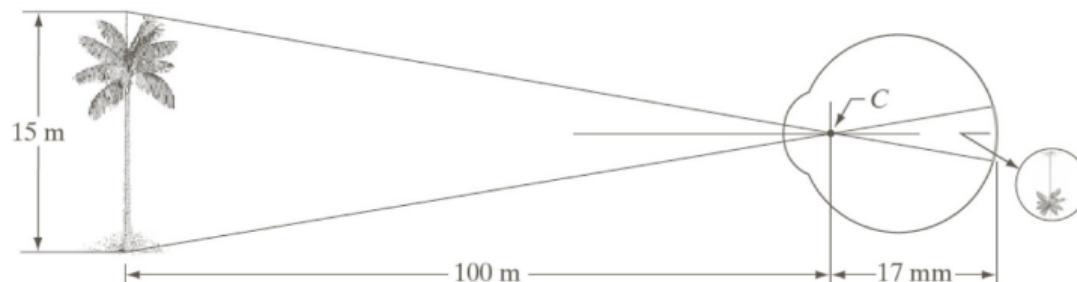
Source : P. Cohen

Formation de l'image sur l'œil

- Principe géométrique simple
- C : Cristallin (lentille)
- Longueur focale $\approx 17\text{mm}$
- Image inversée sur la rétine

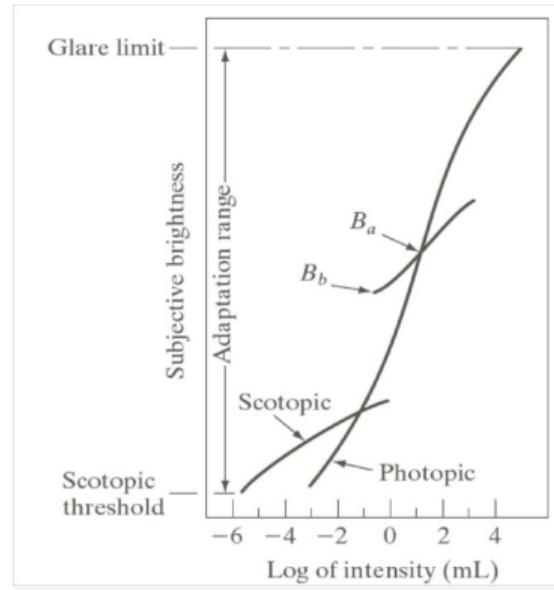


Réponse du cortex visuel à différents patrons visuels



Perception de l'intensité lumineuse

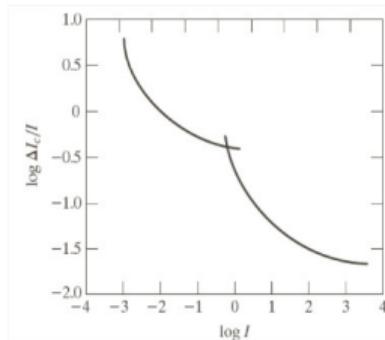
- **Adaptation à l'intensité lumineuse**
- **Vision scotopique** : bâtonnets (faible intensité)
- **Vision photopique** : cônes
- Plage d'adaptation
 - 10^6 mL (photopique)
 - 10^{10} mL (totale)
- **Note** : mL = millilumen, une unité de mesure du **flux lumineux**



Plage de luminosité subjective
(Gonzalez, 2008)

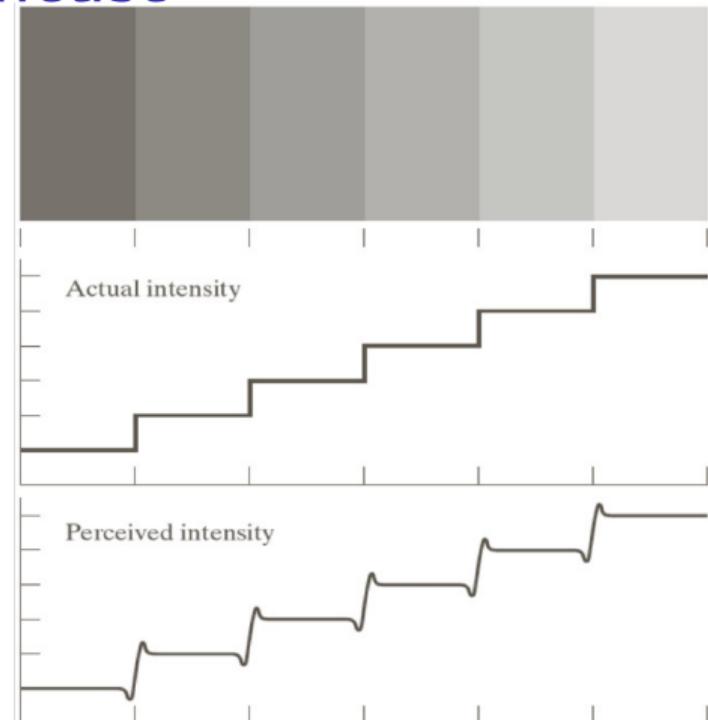
Discrimination entre niveaux d'intensité

- Loi de Weber-Fechner (**psychophysique**) : $I = k \cdot \log(S)$
- I : intensité perçue, S : intensité physique, k : constante.
- On peut l'étudier via le **ratio de Weber** ($\Delta I_c/I$), où ΔI_c est la plus petite augmentation d'intensité perçue par **50% des sujets**.
- **Discontinuité** de la courbe : bâtonnets → cônes
- **À faible intensité**, on perçoit seulement entre **12 à 25 niveaux** d'intensité différents!



Perception de l'intensité lumineuse

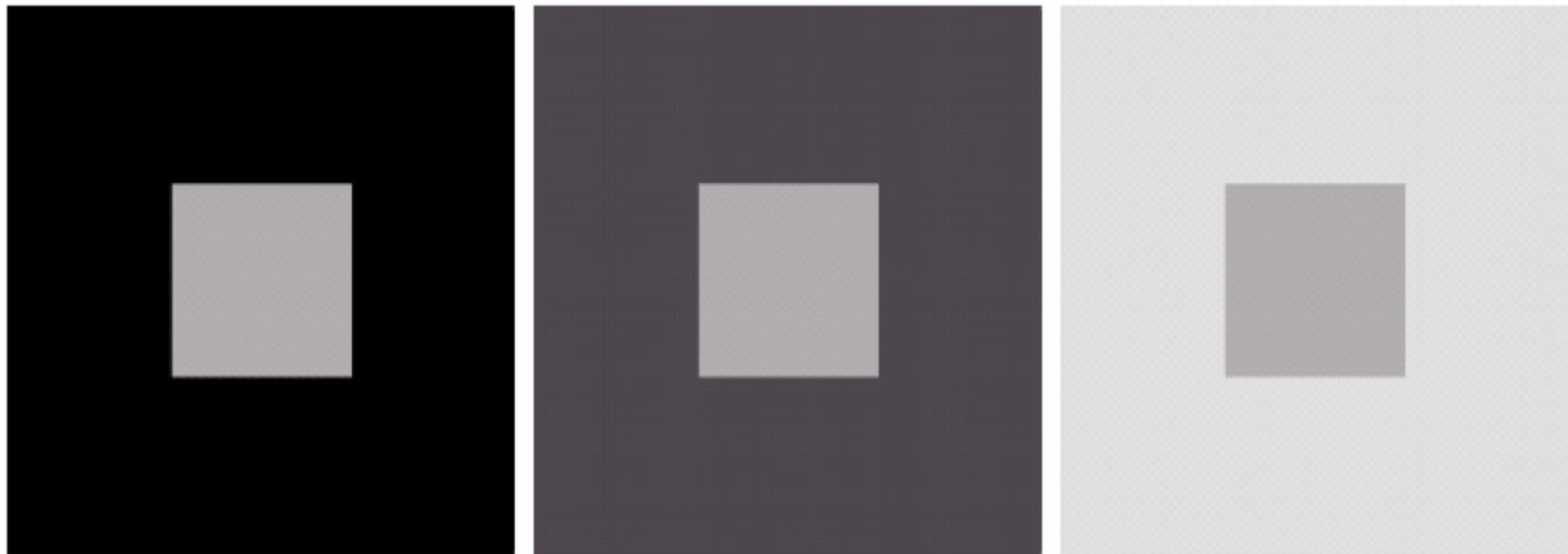
- Bandes de Mach
- Les contours et frontières en zones d'intensité paraissent plus prononcés
- Phénomène important en rehaussement d'images
- **Spoiler** : filtre rehausseur de contours (semaine prochaine)



(Gonzalez, 2008)

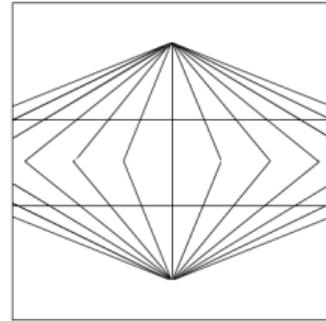
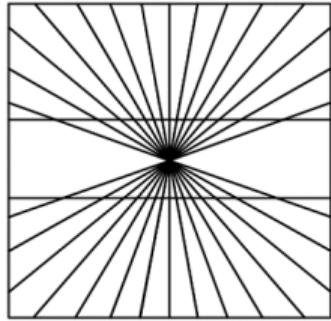
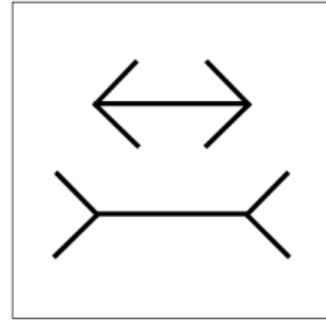
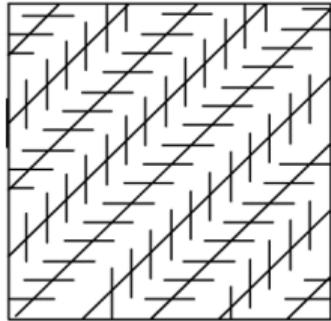
Contraste simultané

- Perception de la luminosité du centre



(Gonzalez, 2008)

Illusions : Géométries



Source : P. Cohen

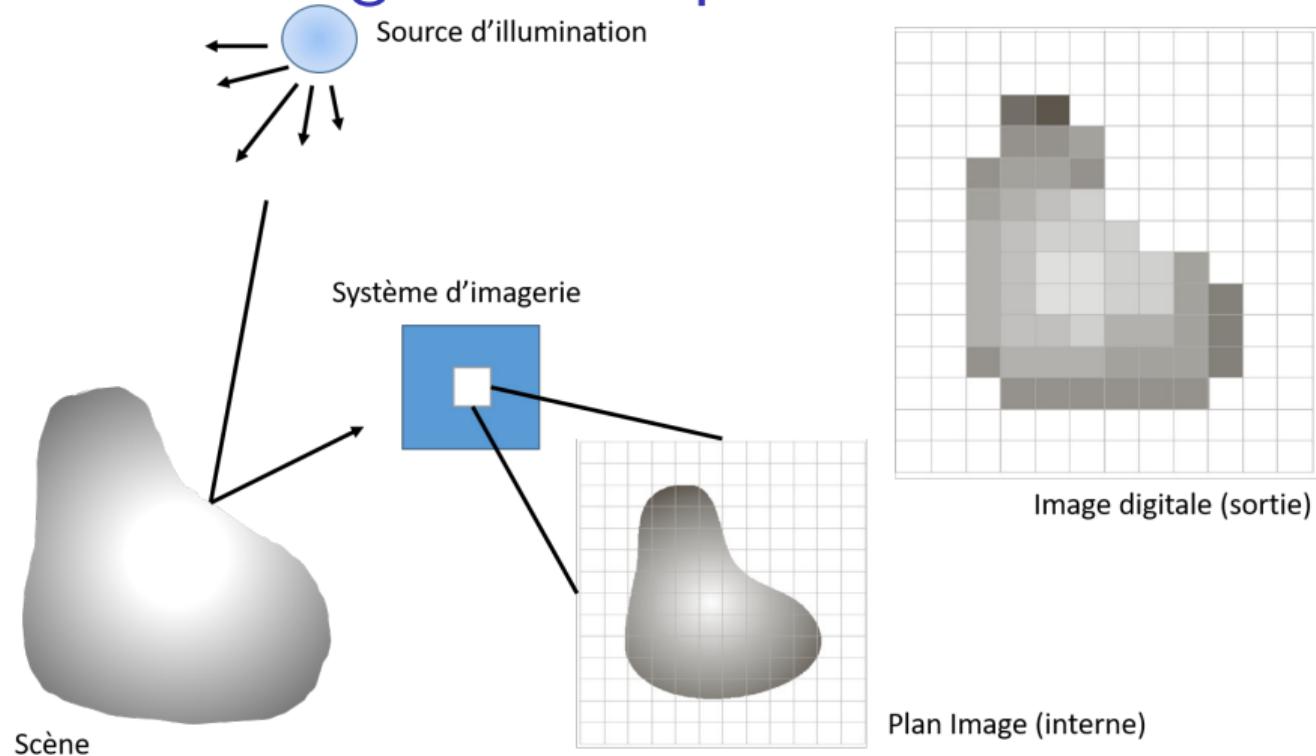
Vision et perception

- **Importance de ces phénomènes ?**
- Interprétation adéquate des images
- Documentation des opérations de traitement d'images
- Esprit critique lors de l'interprétation
- Prendre conscience de ses biais optiques et limitations
- Conception des méthodes de rehaussement et d'amélioration d'images

Section 3

Formation des images numériques

Acquisition d'image numérique



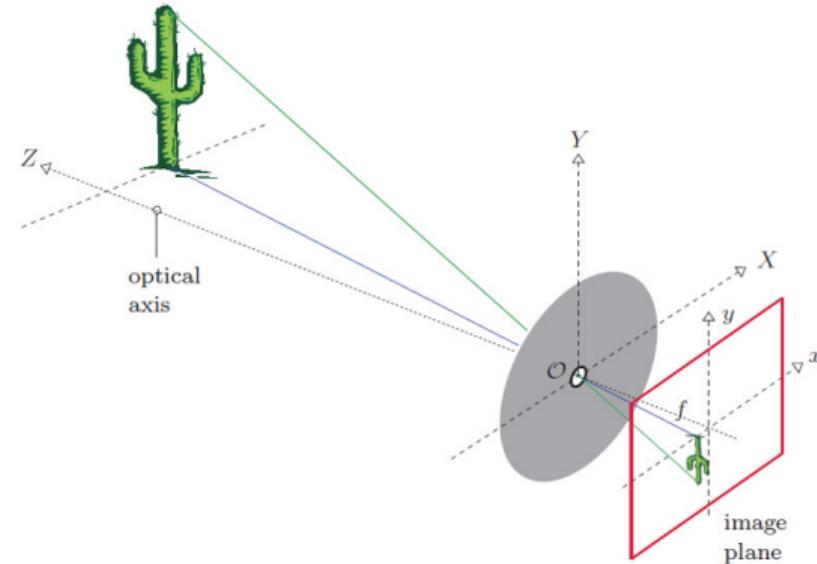
Formation d'image

Modèle de la chambre noire (*pinhole camera*)

- Transformation de perspective

$$x = -f \frac{X}{Z} \quad (1)$$

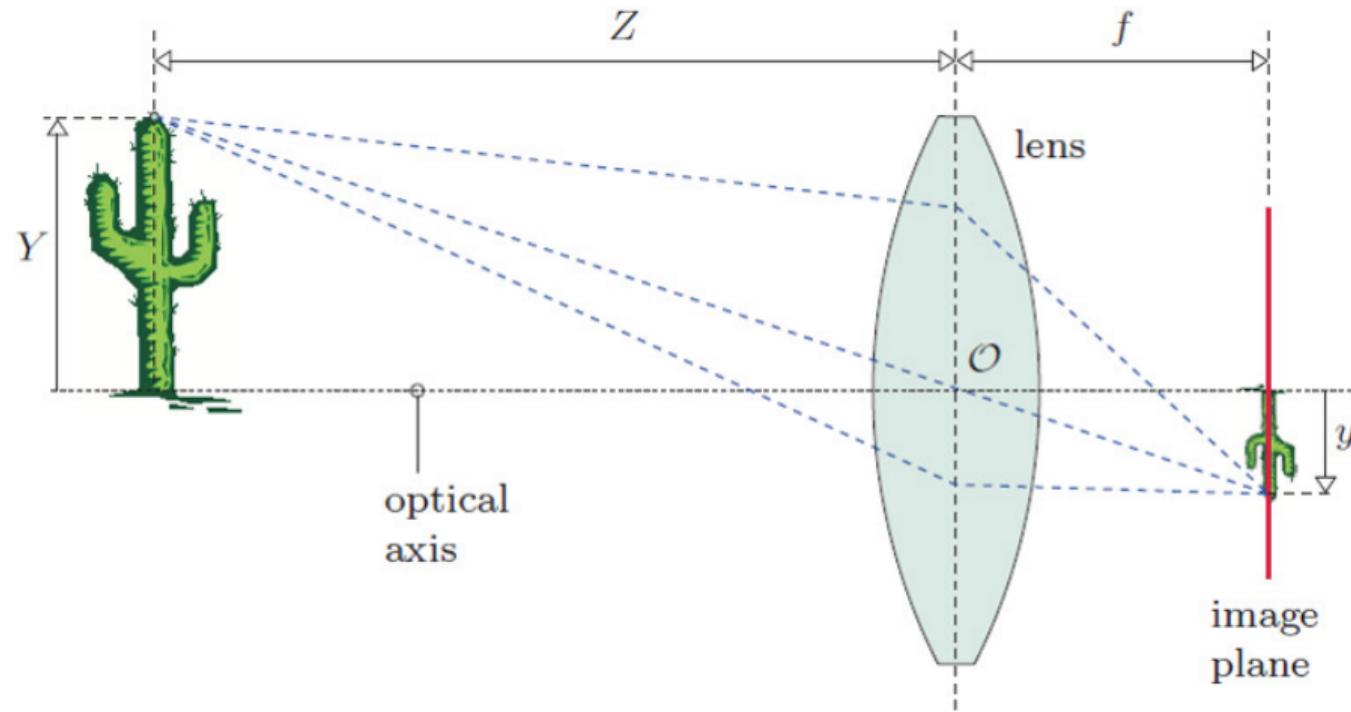
$$y = -f \frac{Y}{Z} \quad (2)$$



- où f est la distance entre l'ouverture / sténopé (*pinhole*) (O) et le plan image

(Burger, Vol1)

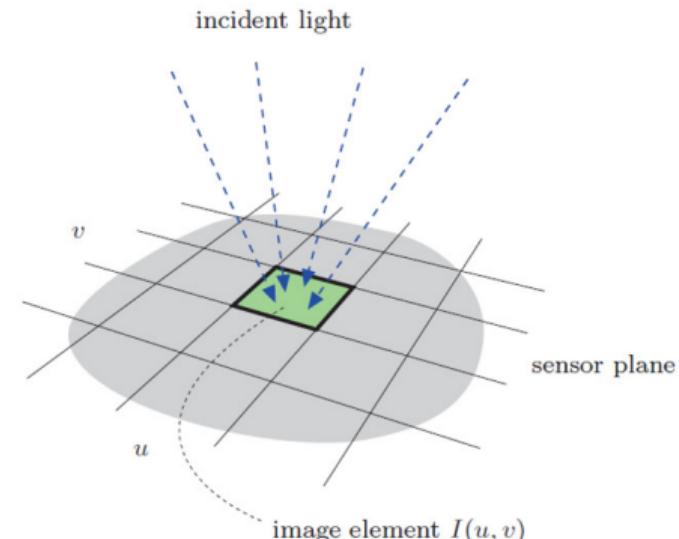
Modèle de la lentille mince



(Burger, Vol1)

Numérisation

- ① La distribution continue de lumière doit être **échantillonnée spatialement**
- ② Cette fonction « discrète » doit ensuite être **échantillonnée dans le domaine temporel** pour créer une seule image (fixe)
- ③ Les valeurs résultantes sont ensuite **quantifiées** vers un ensemble fini de valeurs numériques représentées sur ordinateur



(Burger, Vol1)

Modèle simple de formation d'images

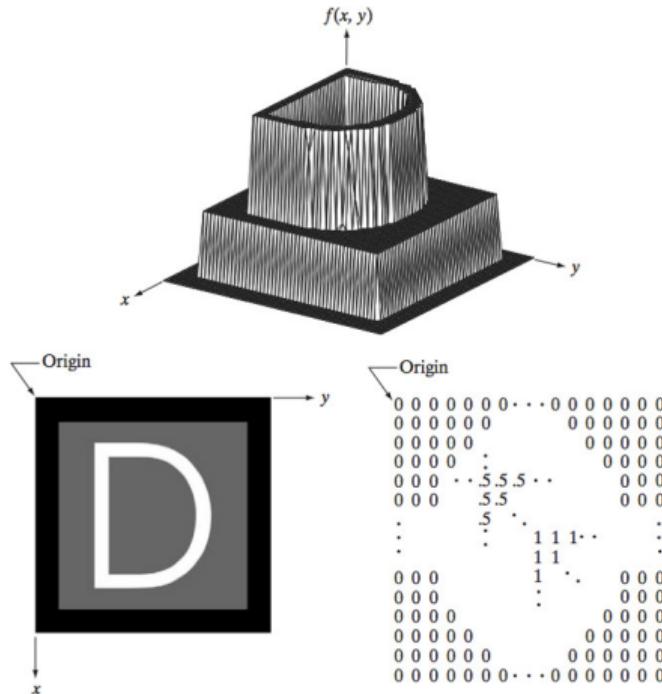
- **Image**
 - Quantité **scalaire** bidimensionnelle (2D)
 - Représentée par une fonction $f(x, y)$, où x, y sont les variables d'espace
 - $f(x, y)$ est **positive** et **bornée** : $\forall(x, y), L_{min} \leq f(x, y) \leq L_{max}$

- **Modèle simple de formation d'images** (ex. photographie, microscopie)

$$f(x, y) = I(x, y) \times R(x, y) \quad (3)$$

- où $I(x, y)$ est l'illumination (bornée) et $0 \leq R(x, y) \leq 1$ est la réflectance.

Représentation numérique des images



a
b c

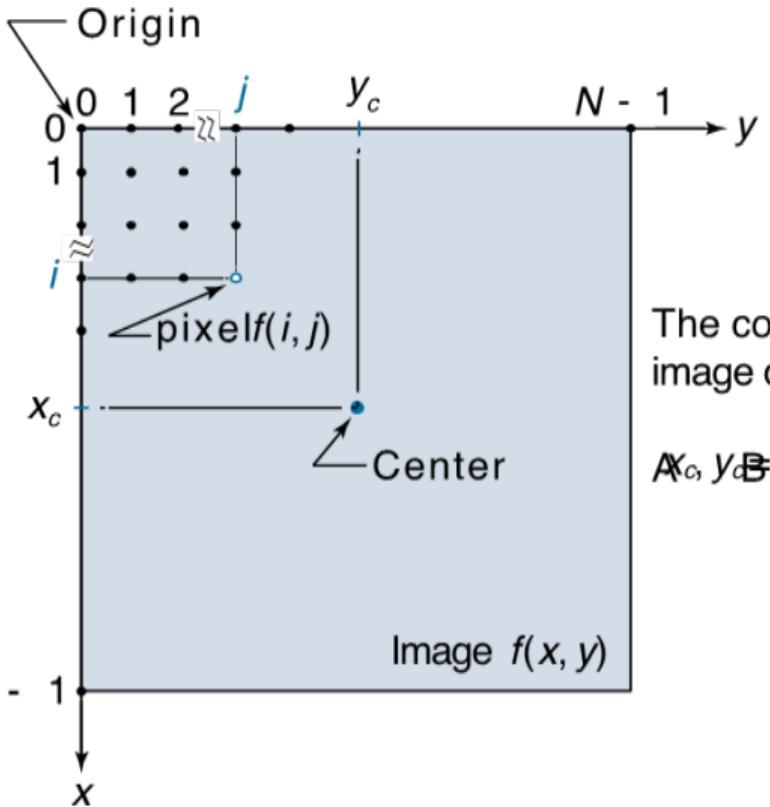
FIGURE 2.18
 (a) Image plotted as a surface.
 (b) Image displayed as a visual intensity array.
 (c) Image shown as a 2-D numerical array
 (0, .5, and 1 represent black, gray, and white, respectively).

(Gonzalez, 2008)

Convention de coordonnées

- Les coordonnées du centre de l'image sont :

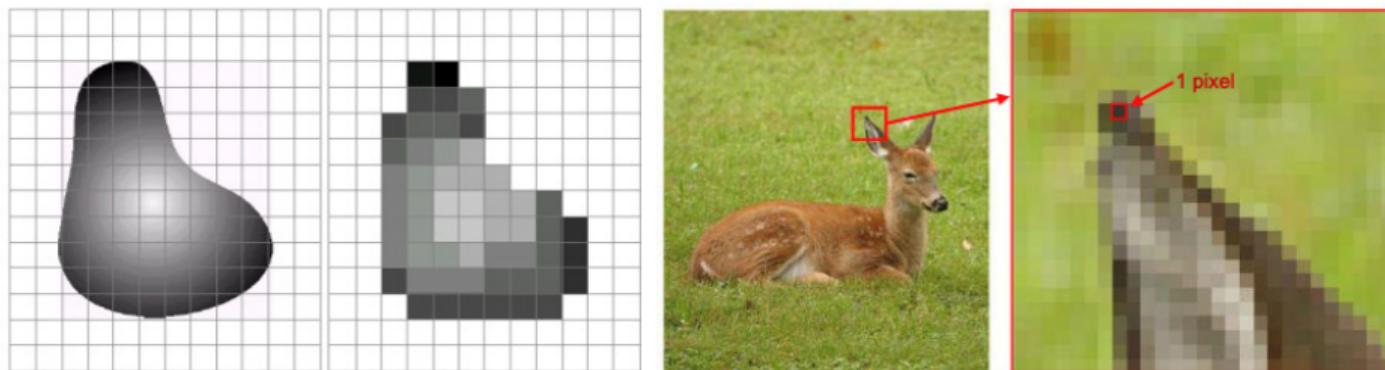
$$(x_c, y_c) = \left(\text{floor} \left(\frac{M}{2} \right), \text{floor} \left(\frac{N}{2} \right) \right)$$



(Gonzalez, 2018)

Échantillonnage

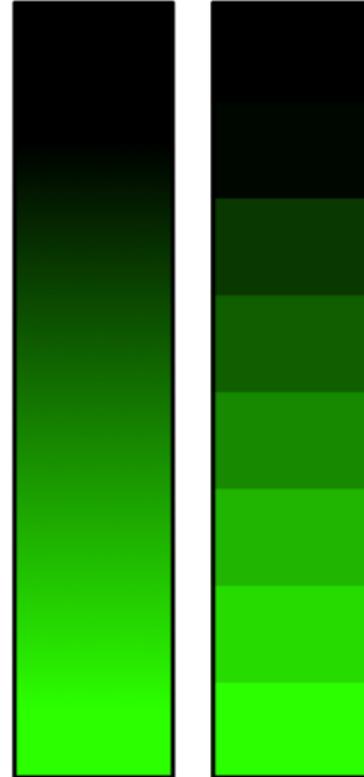
- **Numérisation** : Transformer un objet dans un espace continu en une image dans un espace discret 2D
- Plage de variation de x : $[0; M - 1]$ (\mathbb{Z} , x : indice de lignes)
- Plage de variation de y : $[0; N - 1]$ (\mathbb{Z} , y : indice de colonnes)



(Gonzalez, 2018)

Quantification

- Numérisation des valeurs d'intensité
- **Principe** : Choix d'un nombre entier de valeurs discrètes couvrant l'intervalle $[L_{min}; L_{max}]$
- **En pratique**
 - On choisit un intervalle $[0; L]$
 - On choisit $L = 2^k - 1$, ce qui permet de coder les intensités sur k -bits
 - k est la **profondeur binaire** (*bit depth*)
- **Saturation** : Si $L_{max} > L$



Valeurs des pixels : Images en niveaux de gris

- **1 seul canal** est utilisé pour représenter l'intensité, la brillance, ou la densité de l'image

Canal	Bits / Pix	Étendue	Utilisation
1	1	0 … 1	Image binaire : <i>document, dessin, fax</i>
1	8	0 … 255	Universel : <i>photo, scan, impression</i>
1	12	0 … 4095	Haute qualité : <i>photo, scan, impression</i>
1	14	0 … 16383	Professionnel : <i>photo, scan, impression</i>
1	16	0 … 65535	Meilleure qualité : <i>médecine, astronomie, science</i>

Valeurs des pixels : Image couleur

- La plupart des images couleur sont basées sur les **3 couleurs primaires** rouge, vert et bleu (RGB)
- Chaque couleur est représentée sur 8 bits, pour un total de 24 bits

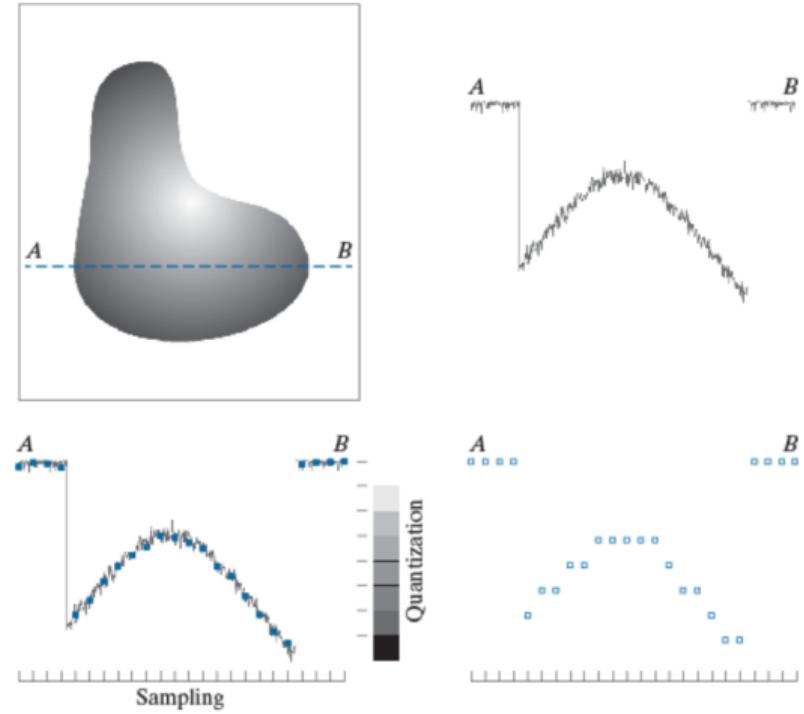
Canal	Bits / Pix	Étendue	Utilisation
3	24	$[0 \dots 255]^3$	RGB, universel : <i>photo, scan, impression</i>
3	36	$[0 \dots 4095]^3$	RGB, haute qualité : <i>photo, scan, impression</i>
3	42	$[0 \dots 16383]^3$	Professionnel : <i>photo, scan, impression</i>
4	32	$[0 \dots 255]^4$	CMYK : <i>préimpression numérique</i>

Valeurs des pixels : Images spéciales

- Pour certaines **applications de pointe** (astronomie, médecine ...) des valeurs plus précises sont requises.

Canal	Bits / Pix	Étendue	Utilisation
1	16	$-32768 \dots 32767$	Valeurs entières négatives et positives
1	32	$\pm 3.4 \times 10^{38}$	Nombres réels (<i>float</i>)
1	64	$\pm 1.8 \times 10^{308}$	Nombres réels (<i>double</i>)

Échantillonnage / Quantification



(Gonzalez, 2018)

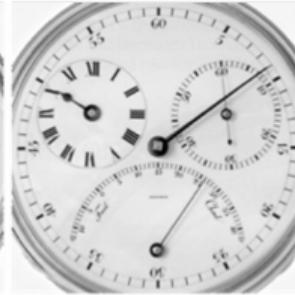
Résolution spatiale

- Notions de résolution spatiale
- **Résolution optique** : pouvoir séparateur
- **Résolution numérique** : DPI (*dots per inch*)
- **Sous-échantillonnage** : Résolution numérique insuffisante

930 dpi



300 dpi



150 dpi



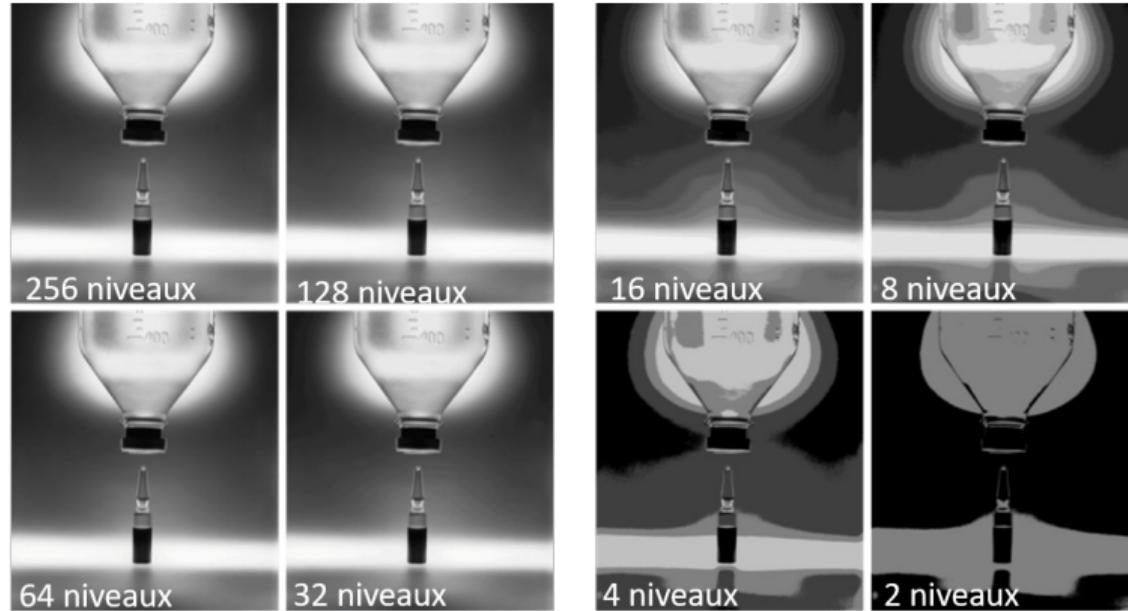
72 dpi



(Gonzalez, 2018)

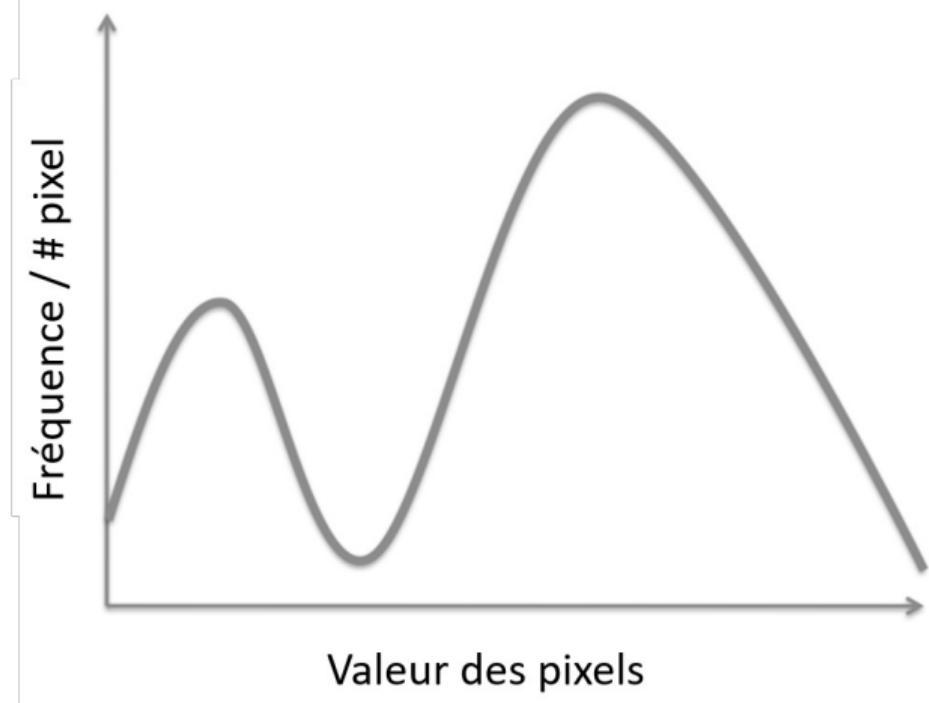
Résolution en intensité

- Résolution insuffisante : perte de qualité et artefacts



(Gonzalez, 2018)

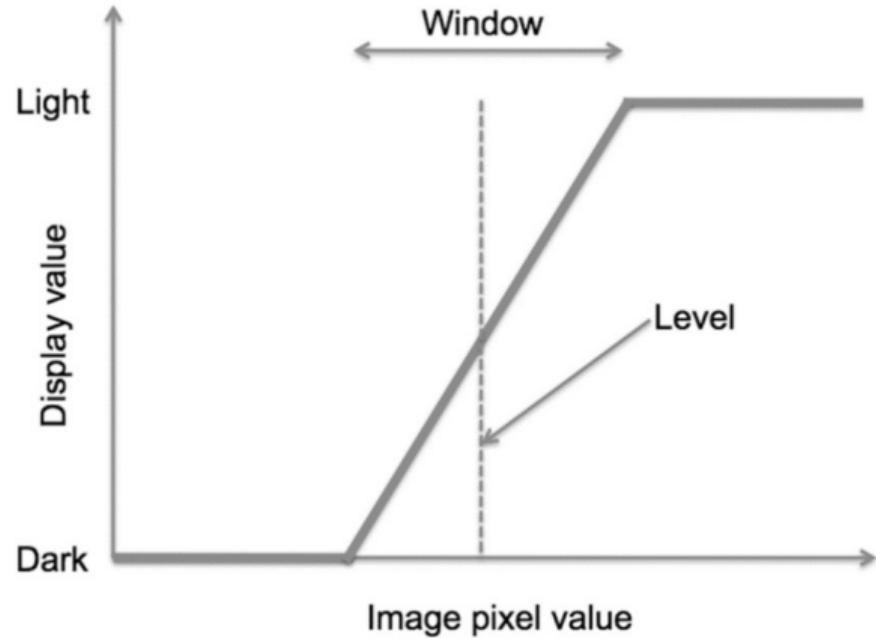
Histogramme d'une image



(Gonzalez, 2018)

Niveau et fenêtre (*Window and level*)

- Outil fréquemment utilisé par les applications de visualisation d'images
- Ajustement du contraste
- Démo : Logiciel ImageJ



(Burger, Vol1)

Format d'images

Le format d'image à utiliser dépend :

- **Type d'image** : image en noir / blanc, numérisation de document, images en couleur, graphiques en couleur, images spéciales ...
- **Limitation** de stockage / compression
- **Compatibilité** : communication, archivage, court / long terme
- **Domaine d'application** : impression, web, film, infographie, médecine, astronomie
- **Quelques formats d'images** : TIFF, GIF, PNG, JPEG

TIFF : Tagged Image File Format

- Très répandu et flexible
- Conçu pour un usage **professionnel**
- Supporte les niveaux de gris, couleurs indexées, et vraies couleurs (et aussi quelques valeurs spéciales)
- Peut contenir **plusieurs images**
- Elles peuvent être compressées (méthodes LZW, ZIP, CCITT, JPEG, etc.)
- Contient des « **étiquettes** » (*tags*) pour ajouter de l'information / métadonnées.
- Format d'échange presque **universel** pour les applications scientifiques, l'archivage, la photographie digitale, et la production de vidéos numériques.

GIF : Graphics Interchange Format

- Format très répandu sur le web
- Supporte les couleurs indexées, la compression LZW, la lecture entrelacée, et les animations simples.
- Utilise une profondeur de 8 bits
- Fonctionne bien pour les images « plate » ou « iconique » (grande surface de couleur uniforme)



Giphy.com

PNG : Portable Network Graphics

- Remplacement du format GIF (problème de licence)
- Format universel très utilisé sur Internet
 - Vraie couleur (jusqu'à 3x16 bits / pixels)
 - Tons de gris (jusqu'à 16 bits / pixels)
 - Indexé (jusqu'à 256 couleurs)
 - Canal *alpha* (4e dimension pour la transparence)
- 1 seule image, dont la taille peut atteindre $2^{30} \times 2^{30}$ pixels
- Compression *sans perte* (Méthode PKZIP)

JPEG : Joint Photographic Experts Group

- Le standard JPEG définit une méthode de compression pour les images continue en ton de gris / couleur (ex. : photographie naturelle)
- **But** : grand taux de compression (avec perte) sans perte d'information **perceptible** par l'œil humain
- JPEG peut atteindre en pratique un taux de compression de 1:25 pour une image couleur 24-bit
- Fonctionne moins bien pour les images non naturelles

Démo Python

- <https://github.com/joe-from-mtl/teaching/blob/main/notebooks/inf600f-images/ch1-images/ch1-images.ipynb>
- Lecture d'une image
- Écriture d'une image
- Affichage d'une image
- Informations à propos d'une image
- Manipulations de base