

Introduction au Traitement d'image

Master Système Embarqué

Aissa. Belmeguenai

Laboratoire de Recherche en Electronique de Skikda
Université 20 Août 1955- Skikda
BP 26 Route d'El-hadaeik Skikda, Algeria

2019

Plan du cours

- 1 L'Image
- 2 Système de Traitement d'Image
- 3 Histogramme
- 4 Convolution
- 5 Transformations d'images
- 6 Seuillage et Binarisation

1. L'Image

Définition

- Une image est avant tout un signal $2D(x,y)$
- Souvent, cette image représente une réalité $3D(x,y,z)$
- D'un point de vue mathématique :
 - Une image est une matrice de nombres représentant un signal
 - Plusieurs outils permettent de manipuler ce signal
- D'un point de vue humain :
 - Une image contient plusieurs informations sémantiques
 - Il faut interpréter le contenu au-delà de la valeur des nombres
- Une image est représentée :
 - Par fonction continue $f(x, y)$, $x, y \in R$;
 - Les valeurs de $f(x,y)$ sont la réponse du capteur au phénomène observé
 - Les valeurs de $f(x,y)$ sont des valeurs de voltage continu.
 - Les valeurs de $f(x, y)$ doivent être converties vers le domaine numérique.

Définition

Une image est dite numérique si elle est échantillonnée et quantifiée.

Échantillonnage:

- La discrétisation des coordonnées de l'image réelle (généralement limité par la capacité du capteur), donc le nombre de pixels disponible.
- Le résultat est un découpage discret de l'image en une matrice de pixels de taille Largeur x Hauteur y .
- L'échantillonnage influence la résolution spatiale de l'image finale, c'est-à-dire le nombre de pixels (en x et y) que contiendra cette image et le plus petit détail qui sera discernable sur cette image.

Quantification:

- La quantification est la discrétisation du niveau de gris (ou de la couleur) de chaque pixel selon une échelle définie sur k bits.
- La quantification influence la résolution des tons de gris (ou de couleurs), c'est-à-dire le plus petit changement de gris (ou de couleur) qui sera discernable pour un pixel de l'image finale.
- Une image numérique est composée d'un ensemble fini d'éléments, appelés picture élément, ou pixels (voxels en 3D).

Dynamique de l'image:

- la dynamique de l'image D , est l'étendue des valeurs qu'un pixel peut prendre $D = [D_{min}, D_{max}]$.

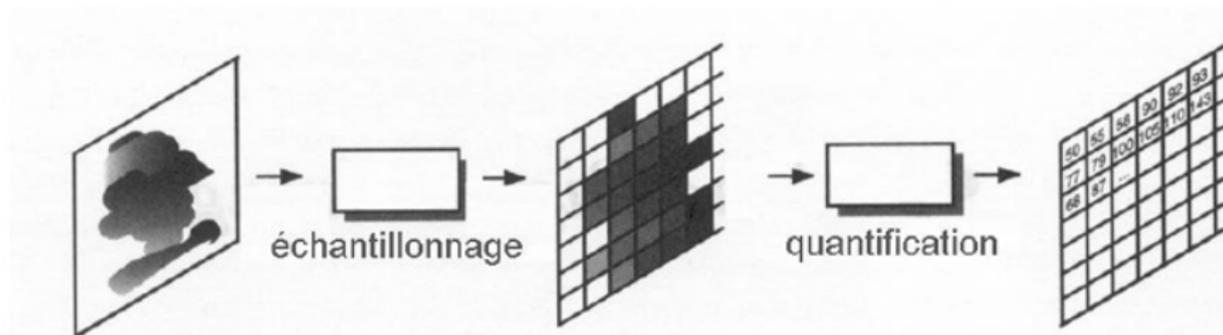


Figure : *L'échantillonnage et la quantification.*

La résolution correspond à la finesse de la description spatiale.

Définition : la résolution est le nombre de points/pixels par unité de longueur. Exprimé en : dpi : dots per inch (points par pouce.)



Figure : Résolution spatiale : Échantillonnage.



Figure : Résolution tonale : Quantification.

Représentation matricielle :

- Le contenu de l'image est représentée par une matrice $f(i,j)$ de $i \times j$ pixels (picture element).
- Chaque pixel est localisé par la ligne i et de la colonne j est désigné par $f(i,j)$.

Représentation vectorielle:

- Le contenu de l'image est représentée par un vecteur $V = [0, \dots, i \times j]$ de $i \times j$ pixels (picture element).
- Les lignes de l'image sont juxtaposées de manière former un vecteur $V = [0, \dots, i \times j]$.

Différents types d'images

- Imagerie à rayons X (radiologie, scanner).
- Imagerie radio-active (tomographie)
- Imagerie IRM (rsonance magnétique)
- Imagerie satellitaire
- Imagerie multispectrale et imagerie couleur
- Imagerie d'écho (radar, sonar, échographe, doppler)
- Imagerie thermique (thermographie)
- Imagerie vidéo (vision industrielle, vidéo surveillance)

Image en mode point (Bitmap):

- Ce sont les niveaux de gris des pixels et leur position dans l'image qui définissent le contenu de celle-ci.
- Les formats les plus connus sont RAW, BMP, TIFF (compression), JPEG (compression), GIF (compression) ou PNG (compression).

Image Binaire:

- Dans une image binaire, les pixels sont représentés par deux états logiques 0 (noir) et 1 (blanc). C'est un codage de l'image sur 1 bit.

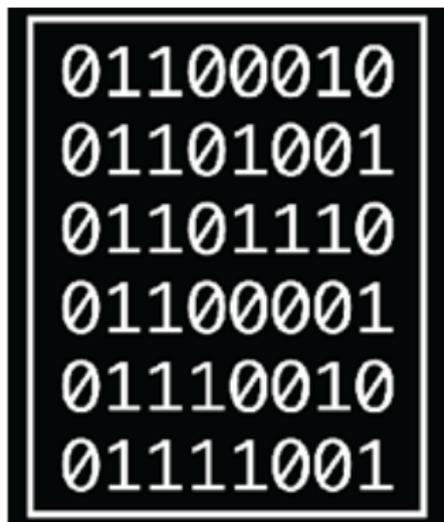


Figure : *Image Binaire.*

Image à niveaux de gris:

- Chaque pixel est codé sur k bits, ce qui lui confère des valeurs entières comprises entre 0 (noir) et $2^k - 1$ (blanc).



Figure : Image à niveaux de gris.

Image couleur

- Une image couleur correspond à la synthèse additive de 3 images, rouge, vert et bleu. Chaque pixel est donc codé sur $3 \times k$ bits.
- La couleur d'un pixel est représentée par 3 composantes couleur et donne naissance à un point dans un espace tridimensionnel



Figure : *Image couleur.*

Connexité

- Connexité d'ordre 4 : on considère les 4 voisins directs N, S, O et E du pixel.
- Connexité d'ordre 8 : on considère les 8 voisins directs N, NE, NO, S, SE, SO, O et E du pixel.

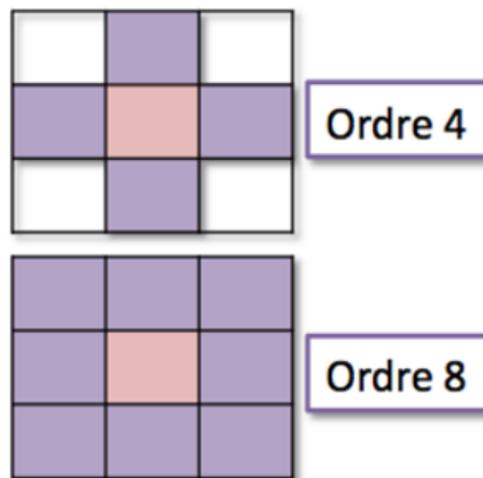


Figure : Connexité d'ordre 4 et d'ordre 8

Image naturelle: Plusieurs moyens d'acquisition

- Caméra, microscope, tomographie, infrarouge, satellite,



Figure : *Image naturelle.*

Image artificielle: Plusieurs outils de représentation

- Synthèse d'images, réalité virtuelle, visualisation scientifique,



Figure : *Image artificielle.*

Contraste: qualité de la dynamique des intensités de l'image.

$$C = \frac{Val_{max} - Val_{min}}{Val_{max} + Val_{min}}$$

Bruit: signal 'parasite' dont la distribution dans l'image est aléatoire et la plupart du temps inconnue.

Déformations géométriques: défauts dus à l'acquisition de l'image (ex. différence d'axe entre le capteur d'acquisition et le centre de la scène observée).

Dégradations connues : (ex. dus à la réponse impulsionnelle du détecteur).

Texture: répartition statistique ou géométrique des intensités dans l'image.

Contour : limite entre deux ou un groupe de pixels dont la différence de niveaux de gris ou de couleurs est significative.

Rgion : groupe de pixels présentant des caractéristiques similaires (intensité, mouvement, etc.).

Objet : région (groupe de régions) entièrement délimitée par un contour, possédant une indépendance dans l'image.

Contenu d'une image

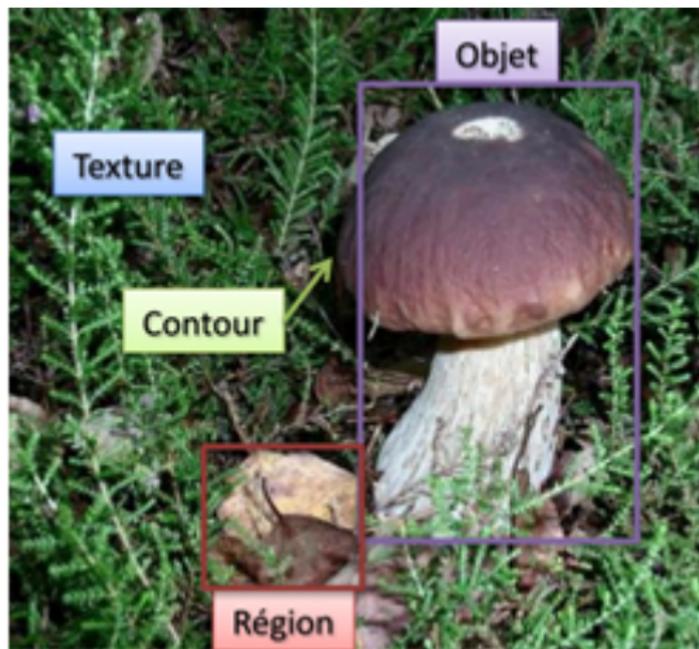


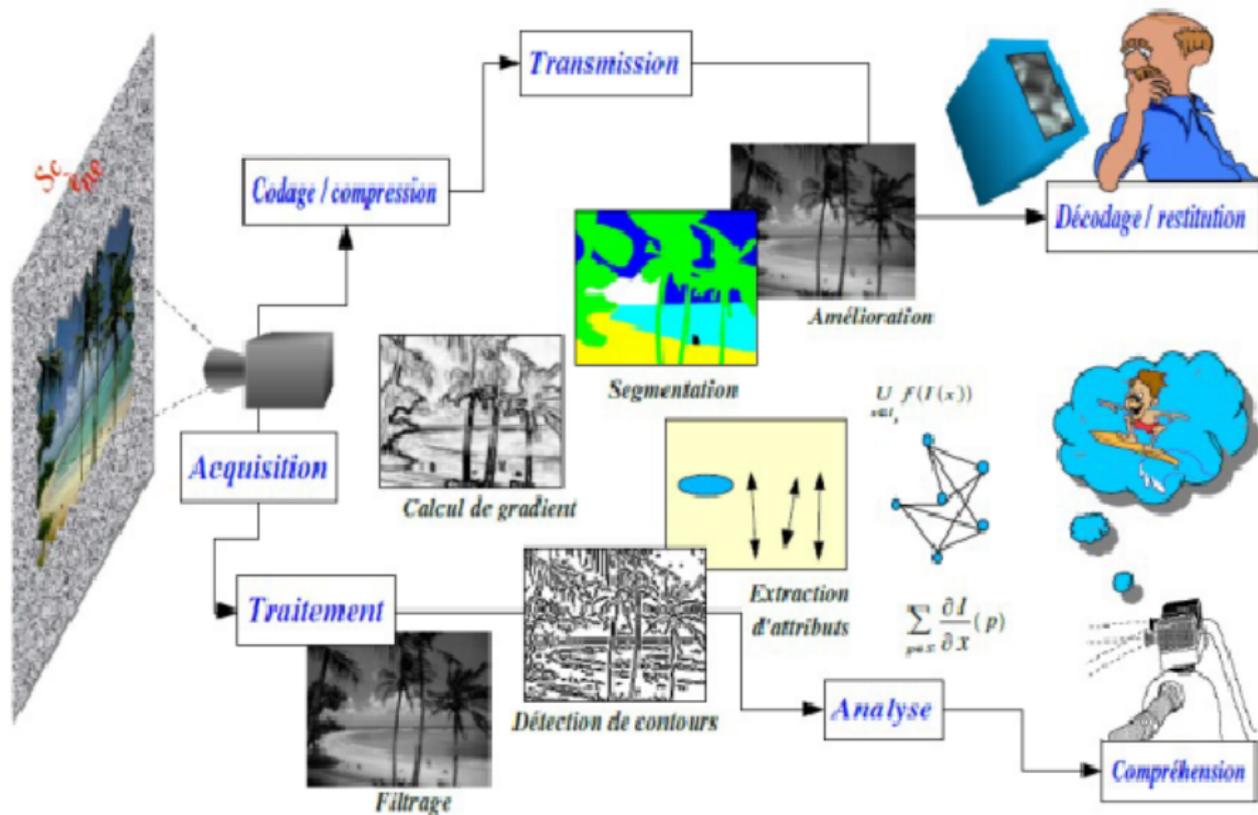
Figure :

2. Système de Traitement d'Image

Un système de traitement numérique d'image est composé de :

- **Acquisition:** Convertir l'image d'une vue réelle en une image numérique
- **Prétraitement:**
 - Compresser, restaurer et améliorer l'image.
 - Préparer l'image au traitement et à l'analyse.
 - Coder l'image
- **Traitement (ou analyse)**
 - Extraire l'information utile.
 - Traitement bas-niveau : l'image est décrite de manière numérique (structurelle), il n'y a pas de liens avec la réalité qu'elle représente.
 - Traitement haut-niveau : l'image est décrite de manière symbolique, un lien existe avec la scène observée.
- **Analyse (ou décision ou interprétation):**
 - Interpréter les informations et décider d'une action à engager: l'image est alors décrite de manière sémantique.

Système de traitement d'image



- **Synthèse d'images (infographie):**
 - Modélisation mathématique du contenu des images.
- **Amélioration**
 - Modification de l'image dans le but de la rendre plus agréable à l'oeil.
- **Restauration**
 - Correction des défauts dus à une source de dégradation.
- **Compression**
 - Réduction du volume de l'image.
- **Quantification:**
 - Codage de l'image.
- **Segmentation:**
 - Partition de l'image

- **Classification**

- Affectation des données de l'image à une classe définie.

- **Reconnaisances des formes**

- Identification du contenu de l'image.

- **Indexation et recherche d'images**

- Caractérisation du contenu de l'image.

- **Analyse du mouvement**

- Estimation du mouvement dans les séquences d'images.

- **Vision 3D**

- Localisation en 3 dimensions des objets dans l'image (triangulation, stéréoscopie ou stéréovision, granulométrie,)

- **Visualisation**

3. Histogramme

- **Définition:** L'histogramme représente la distribution des niveaux de gris (ou de couleurs) dans une image.
- Fonction décrivant la répartition des niveaux de gris (niveaux d'intensité) de l'image
- Fournit des informations propres à l'image, telles que :
 - La distribution statistique des niveaux de gris
 - Les bornes de répartition des niveaux de gris
- Mais aucune information spatiale !
- **Notation:** $H(k)$ nombre de pixels dans l'image ayant le niveau de gris k .
Cas considr : image code sur $k = 8$ bits 256 niveaux de gris disponibles
- **Convention** : l'abscisse d'un histogramme représente les niveaux gris allant du plus fonc gauche au plus clair droite.

3. Histogramme

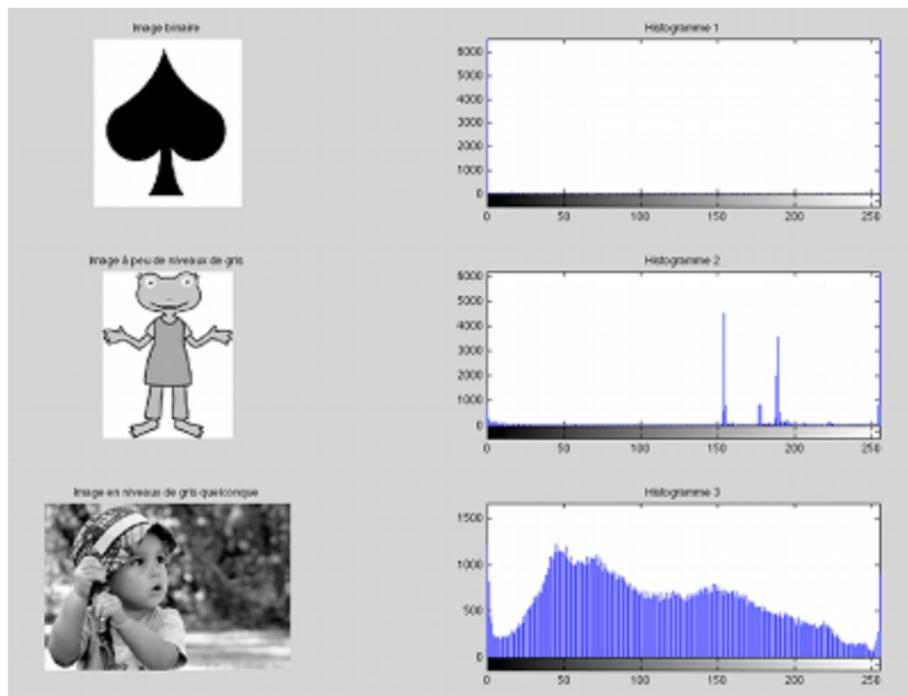


Figure : Quelques exemples d'histogrammes.

3. Histogramme

- Deux images différentes (en termes de contenu sémantique) peuvent aussi avoir le même histogramme.

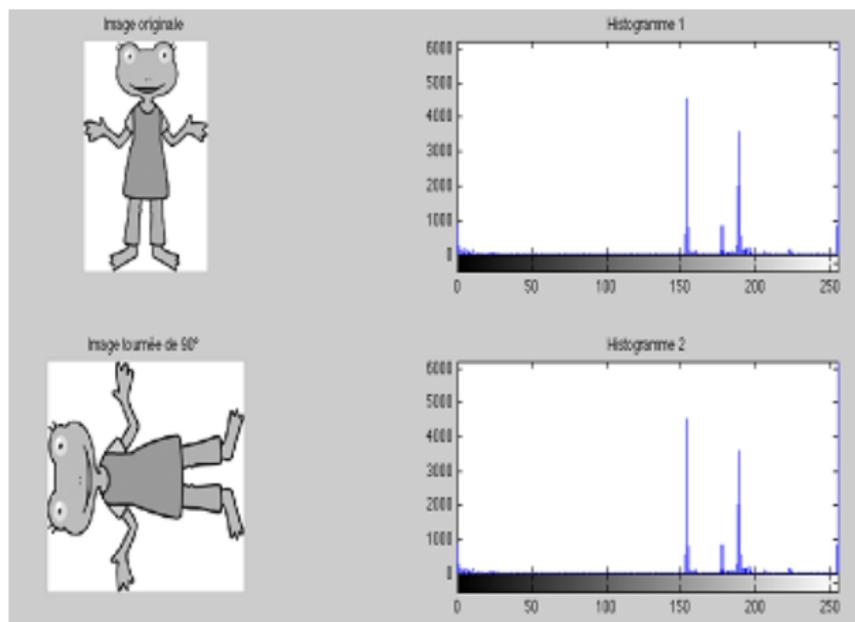


Figure : Histogramme deux images différentes.

Définition

- Fonction H_n donnant la probabilité (en termes de fréquence d'occurrence) qu'un pixel ait pour niveau de gris k
- $H_n(k)$ est le taux de pixels ayant un niveau de gris égal à k :

$$H_n(k) = \frac{H(k)}{N \times M} \quad (1)$$

Où N et M sont respectivement le nombre de lignes et de colonnes de l'image.

- Les valeurs de $H_n(k)$ sont normalisées.

Définition

- L'histogramme cumulé est donné par :

$$H_c(k) = \sum_{i \leq k} H(i) \quad (2)$$

Où $H(.)$ est l'histogramme.

- Il est défini récursivement par :

$$H_c(k) = \begin{cases} H_c(0) = H(0) \\ H_c(k) = H_c(k-1) + H(k) \end{cases} \quad (3)$$

Histogramme Cumulé

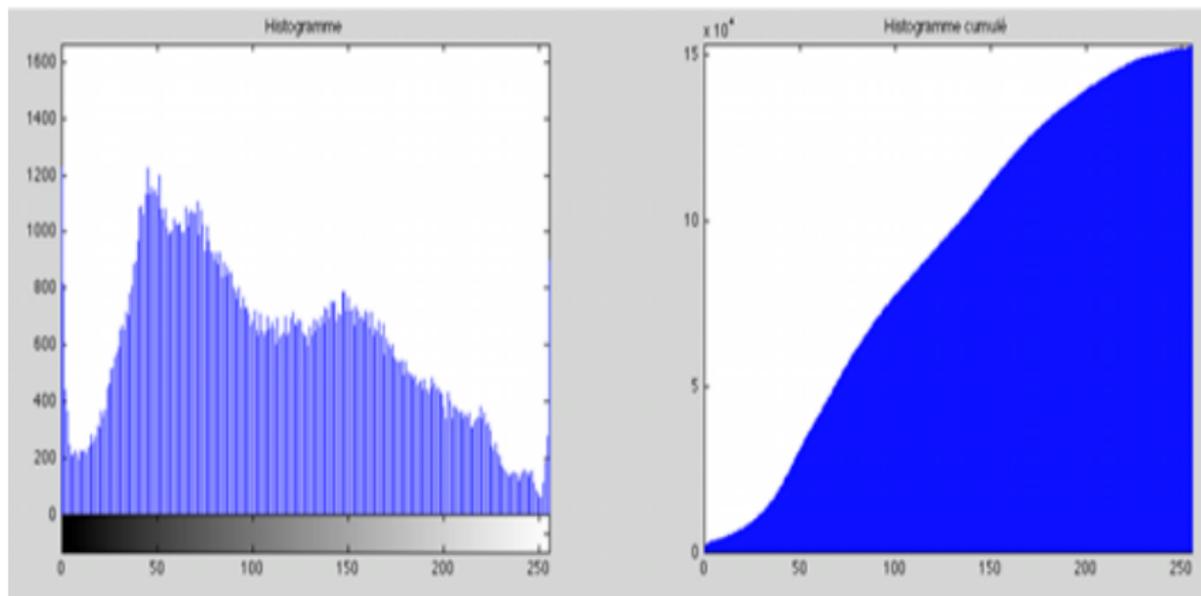


Figure : *Histogramme et Histogramme Cumulé.*

- L'histogramme cumulé normalisé est donné par :

$$H_{cn}(i) = \sum_{j \leq i} H_n(j)$$

(4)

Où $H_n(\cdot)$ est l'histogramme normalisé.

- $H_{cn}(k)$ représente la probabilité d'avoir un niveau de gris inférieur ou égal à k : approximation discrète de la fonction de répartition du variable aléatoire "niveau de gris d'un pixel".

4. Convolution

C'est l'opérateur de base du traitement linéaire des images.

- Soit I une image numérique; soit h une fonction de $[x_1, x_2] \times [y_1, y_2]$ à valeurs réelles. La convolution de I par h est définie par :

$$I * h = \sum_{i=x_1}^{x_2} \sum_{j=y_1}^{y_2} h(i, j) I(x - i, y - j) \quad (5)$$

- La fonction h est dite noyau de convolution. En générale, h est un masque carré de taille d impaire.
- Les nouvelles valeurs sont calculées par le produit scalaire entre le noyau de convolution et le voisinage du pixel.

4. Convolution

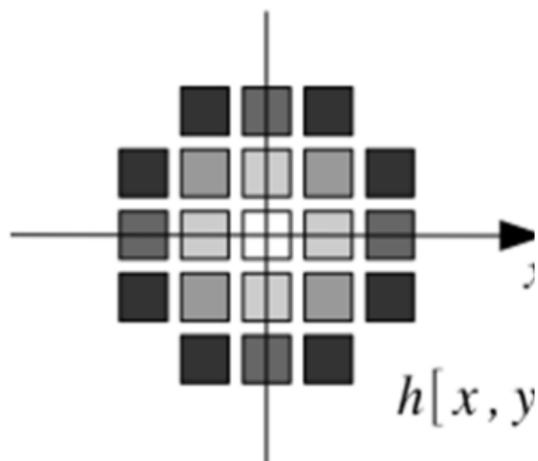


Figure : *Noyau de convolution.*

4. Convolution

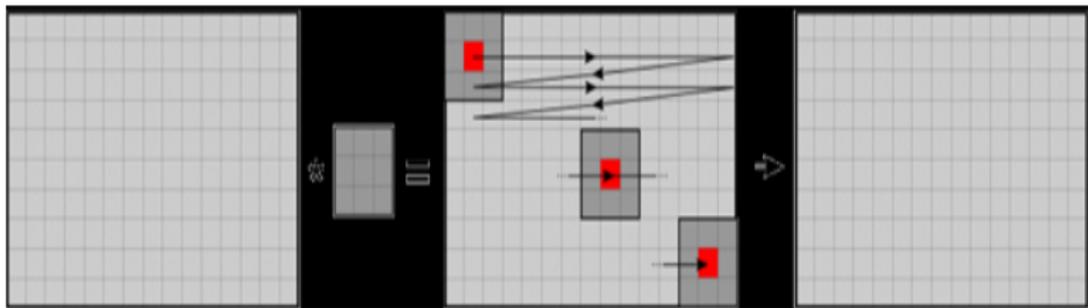


Figure : *Produit de convolution.*

4. Convolution

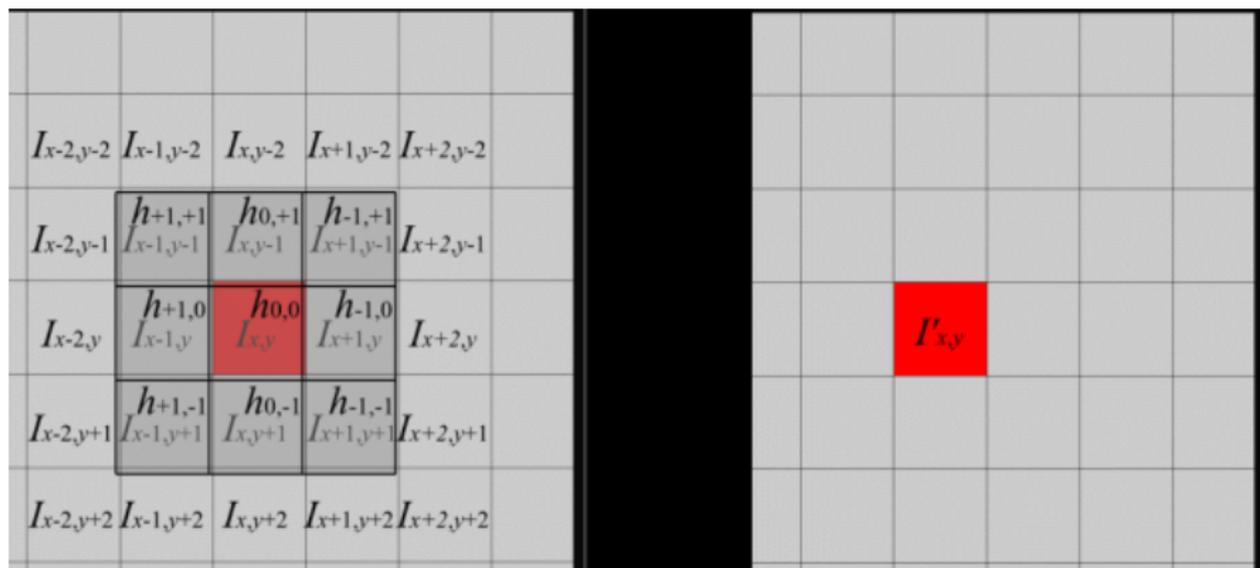


Figure : *Produit de convolution.*

4. Convolution

Propriétés

- Commutativité : $f * h = h * f$
- Associativité : $(f * g) * h = f * (g * h)$
- Distributivité : $(f + g) * h = (f * h) + (g * h)$

Pour calculer une convolution, on remplace la valeur de chaque pixel par la valeur du produit scalaire entre les valeurs du noyau de convolution et les valeurs du voisinage du pixel considéré (par rapport à l'origine (0,0) du noyau de convolution).

5. Transformations d'images: Principes et Types

Principe

- Changer la valeur de chaque pixel d'une image I pour obtenir une nouvelle image I' . Cette image résultat a même taille que I mais des propriétés plus intéressantes.

Notation

- La transformation est notée $T: I'(x, y) = T(I(x, y))$.

5. Transformations d'images

Types de Transformations

- **Ponctuelles (ou pixel pixel):** la nouvelle valeur $I'(x,y)$ est obtenue partir de $I(x,y)$ seulement $I'(x,y) = T(I(x,y))$.
 - Exemple: seuillage, ajustement luminosité/contraste opérations algébriques, manipulation d'histogramme.
- **Locales (ou de voisinage):** la nouvelle valeur $I'(x,y)$ est obtenue à partir de l'ensemble des valeurs initiales $I(V(x,y))$ dans un voisinage autour du pixel de coordonnées (x,y) .
 - $I'(x,y) = T(I(V(x,y)))$
 - Exemple Filtrage
- **Globales :** la nouvelle valeur $I'(x,y)$ est obtenue à partir de l'ensemble des valeurs de l'image initiale I .
 - $I'(x,y) = T(I)$
 - Transformation dans l'espace de Fourier.

Principe

- Une transformation ponctuelle T change un niveau de gris k dans l'image initiale I en un niveau de gris k' pour obtenir l'image résultat I' .
- Elle est donc définie par une table de correspondance ou LUT qui définit, pour chaque niveau de gris k , le nouveau niveau $k' = T(k)$.

Représentations de la LUT tableau ou graphe

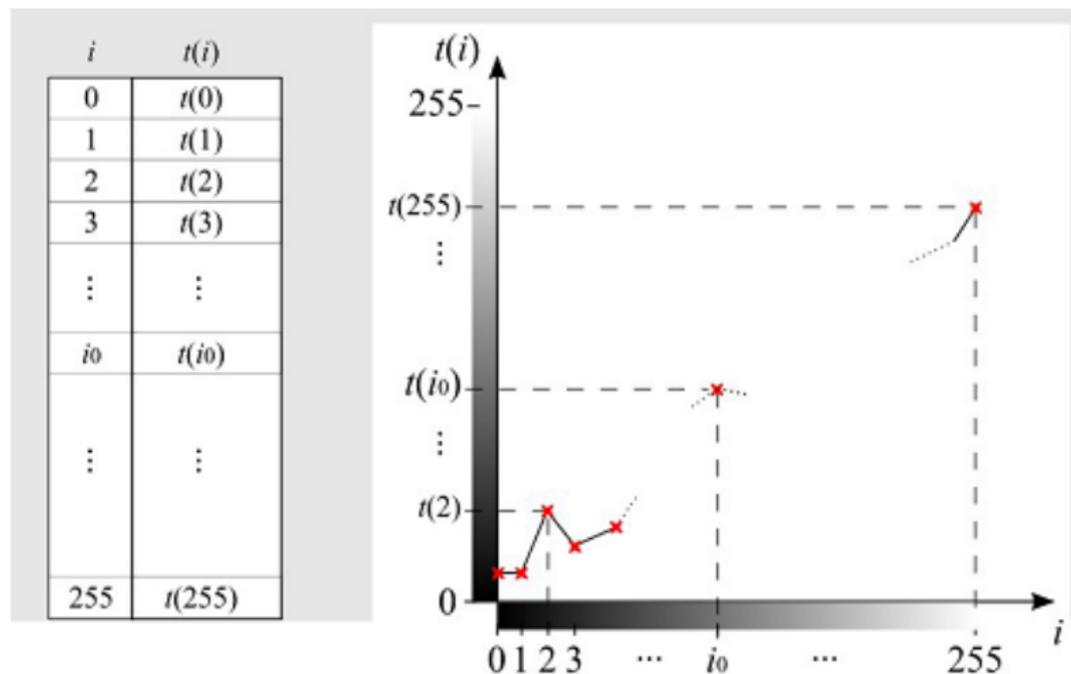
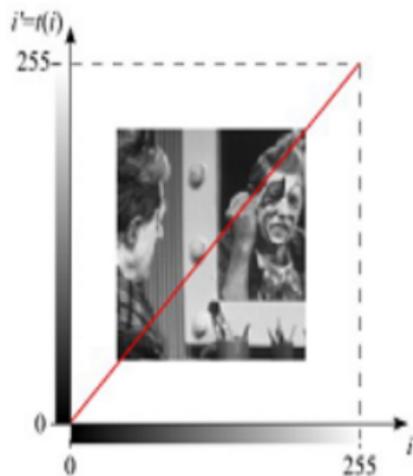


Figure : Représentations de la LUT.

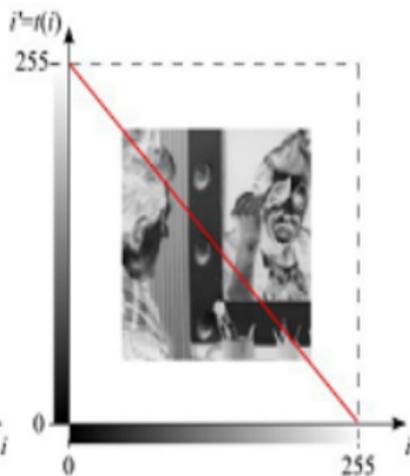
Transformations ponctuelles

Exemples

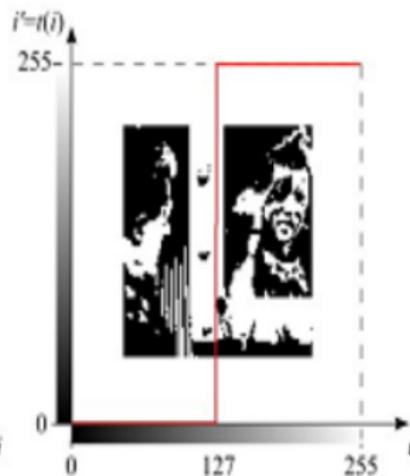
- Identité $k = k'$.
- Négatif $k' = 255 - k$.
- Seuillage $k' = \begin{cases} 0 & \text{si } k < 127 \\ 1 & \text{si } k \geq 127. \end{cases}$



Identité $k = k'$



Négatif $k' = 255 - k$



Seuillage

Expansion de la dynamique

- Soit $k' = [k_{min}, k_{max}]$ la dynamique de l'image initiale..
- Fonction de transformation :
$$k' = 255 \left(\frac{k - k_{min}}{k_{max} - k_{min}} \right).$$

Avec $\left(\frac{k - k_{min}}{k_{max} - k_{min}} \right) \in [0, 1]$
- Effet : rehaussement du contraste par expansion de la dynamique
- Remarque : pas d'effet si $k_{min} = 0$ et $k_{max} = 255$.

Transformation linéaire

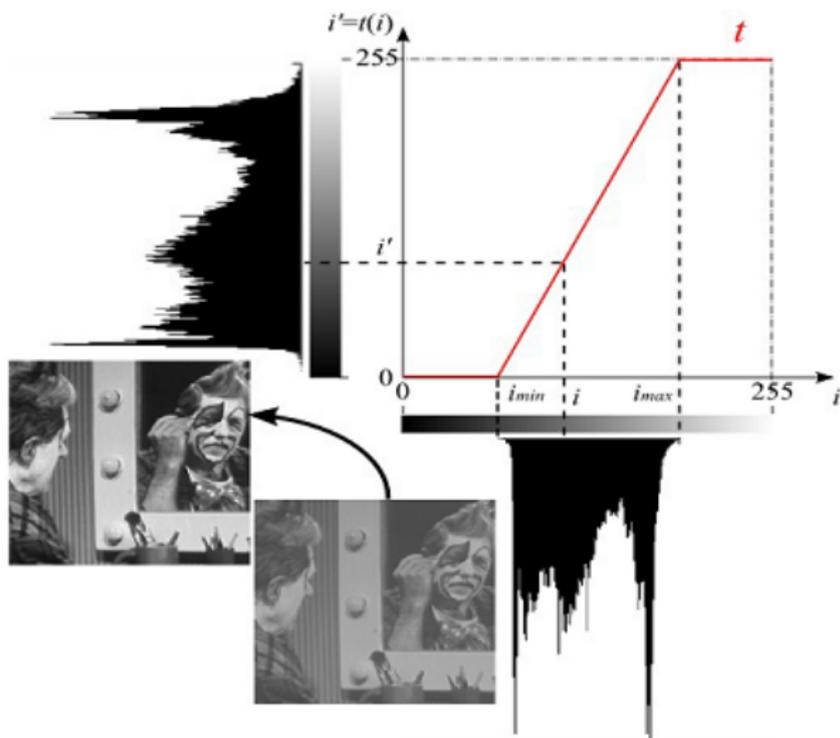


Figure : Transformation linéaire.

- Ces fonctions peuvent être plus ou moins complexes

$$k' = \alpha k + \beta$$

Effet : selon la pente locale (gain), expansion ou compression de la dynamique

- Rehaussement du contraste si gain > 1
- Diminution du contraste si gain < 1

Transformation linéaire par morceaux

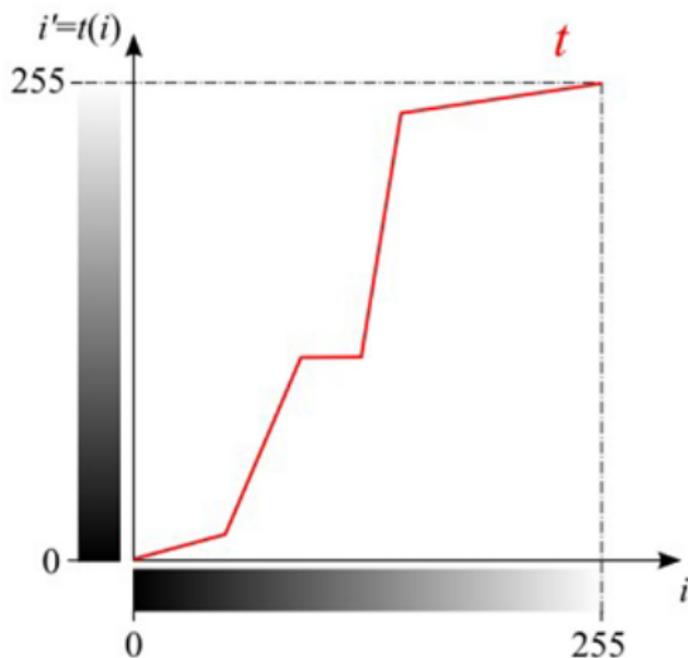


Figure : Transformation linéaire par morceaux.

Quantification:

- Transformation linéaire par morceaux utilisant des paliers.
- Ex: paliers de mêmes largeurs et de hauteurs réparties uniformément.
- Résultat : seuls les niveaux de ces paliers sont conservés dans le résultat.

Quantification

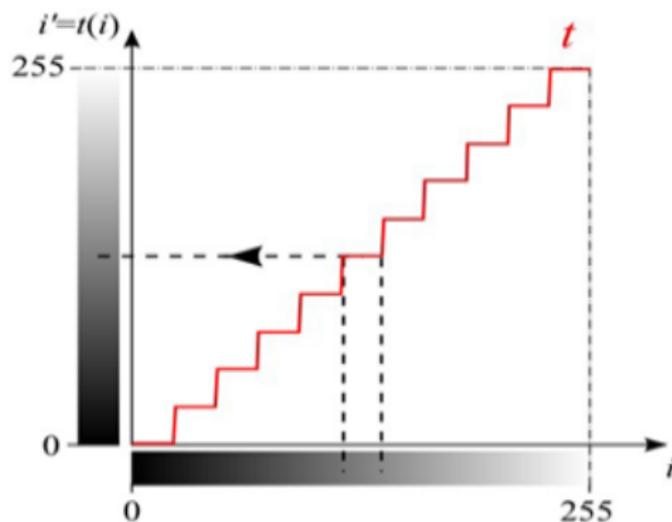


Figure : Quantification.

Correction gamma:

$$k' = k_{max} \left(\frac{k}{255} \right)^{1/\gamma}$$

- $\gamma > 1$ Cette transformation augmente la plage dynamique des intensités élevées : dilatation des zones claires
- $\gamma < 1$ Elle augmente la plage dynamique des intensités faibles dilatation de zones sombres.
- $k_{max} = 255$ pour une image 8 bits..

Correction gamma:

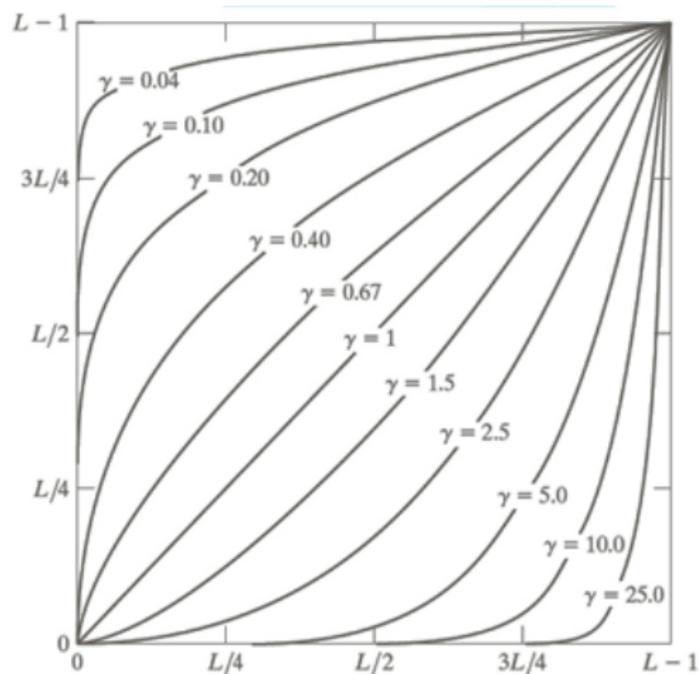


Figure : Correction gamma:

Transformation logarithmique:

- $k' = \frac{k_{max}}{\ln(1+k_{max})} \ln(1+k)$
- Cette transformation de l'intensité permet de dilater les intensités faibles et de compresser les niveaux d'intensités élevés.
- $k_{max} = 255$ pour une image 8 bits..

Transformation logarithmique

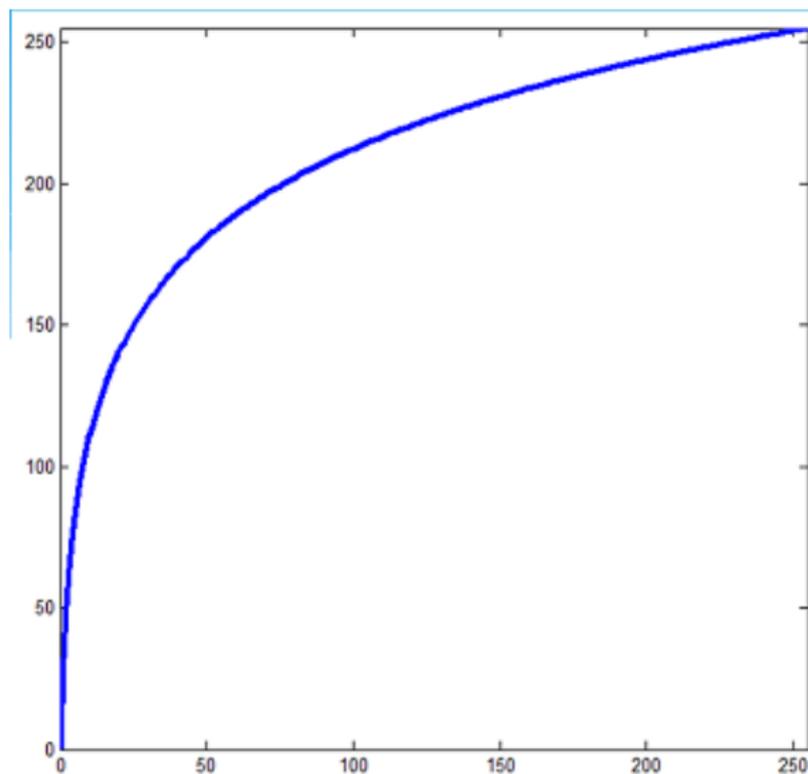


Figure : Transformation logarithmique

Principe:

- On cherche à obtenir une image où les niveaux de gris sont répartis de manière la plus égalitaire possible (contraste maximal).
- L'histogramme de l'image résultat I' est donc plat (idéalement) :
- On cherche une fonction de transformation
$$k' = T(k) = \text{round}(255 \times H_{cn}(k))$$
Où $H_{cn}(k)$ est l'histogramme cumulé normalisé.

Égalisation d'histogramme

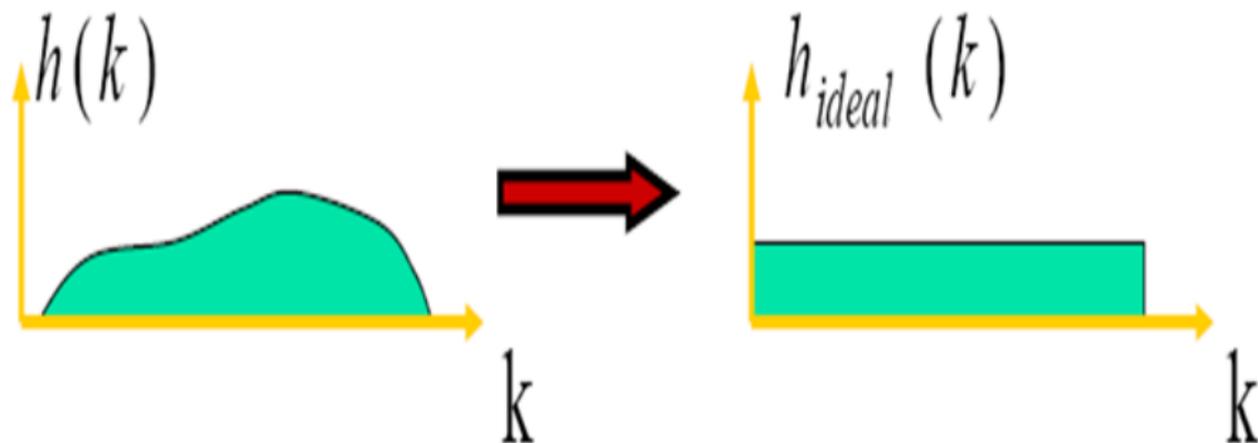


Figure : *Égalisation d'histogramme*

Égalisation d'histogramme

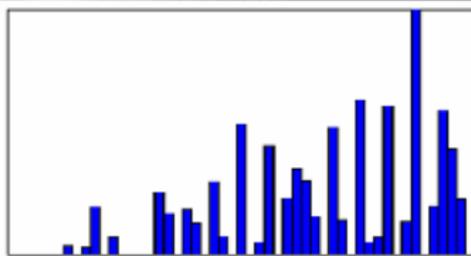
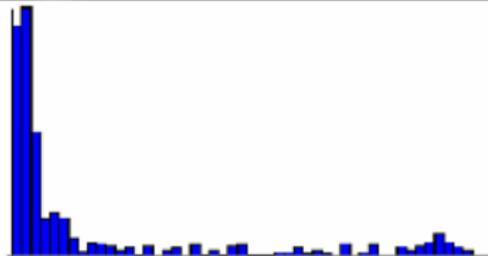


Figure : *Égalisation d'histogramme*

Égalisation d'une image couleur

Considérons une image $A = (R, G, B)$

- On calcule l'intensité de l'image couleur

$$I = \frac{R+G+B}{3}$$

- On calcule l'histogramme de I
- Calculer l'histogramme cumulé normalisé de I noté H_{cn}
- On applique l'égalisation de l'histogramme dans chaque plan de l'image couleur

$$R' = H_{cn}(R) \times 255$$

$$G' = H_{cn}(G) \times 255$$

$$B' = H_{cn}(B) \times 255$$

- $A(R', G', B')$ L'égalisation de A .

3. Seuillage et Binarisation

Définitions et principe

- **Seuillage:** traitement ramenant l'image à deux ou quelques niveaux d'intensité
- **Binarisation:** traitement ramenant l'image à deux niveaux (seuillage binaire)
- Le seuillage binaire est défini par:

$$k' = \begin{cases} k_1 & \text{si } k \leq S \\ k_2 & \text{si } k > S. \end{cases}$$

Où k_1 , k_2 et S (seuils) sont des niveaux de gris.

Binarisation

La binarisation est aussi la première étape d'isolement des objets par rapport au fond.

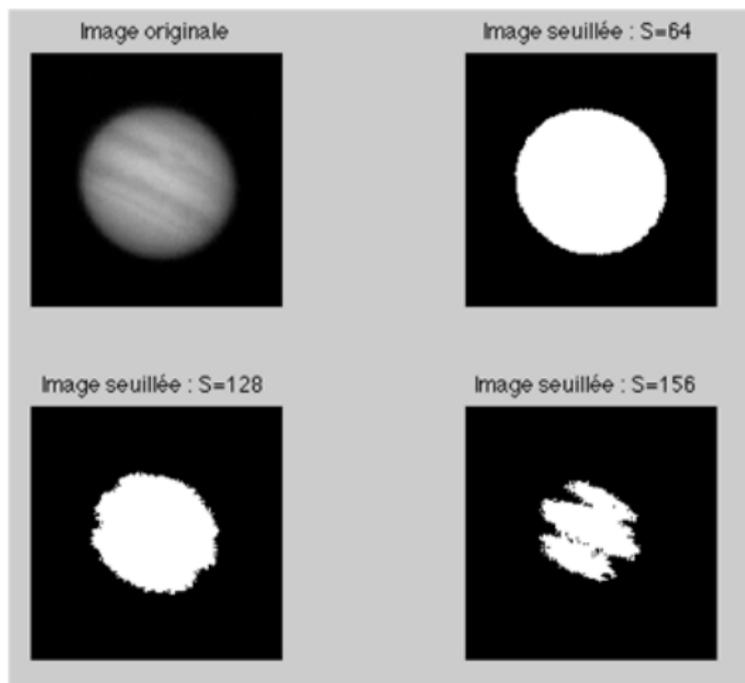


Figure : Binarisation

Ayant une image constituée des informations fond + objet. Comment trouver le seuil optimum séparant l'objet et le fond ?

On sépare les niveaux en deux classes:

- C_1 : Classe des niveaux de 1 à k
- C_2 : Classe des niveaux de $k + 1$ à 255.
- Pour chaque classe, on détermine les éléments statistiques
- $|C_1|$: Nombre de pixels $\in C_1$, $|C_1| = \sum_{i=0}^k H(i)$
- $|C_2|$: Nombre de pixels $\in C_2$, $|C_2| = \sum_{i=k+1}^{255} H(i)$
- μ_1 : Niveau moyen de C_1 , $\mu_1 = \frac{1}{|C_1|} \sum_{i=0}^k i \times H(i)$
- μ_2 : Niveau moyen de C_2 , $\mu_2 = \frac{1}{|C_2|} \sum_{i=k+1}^{255} i \times H(i)$

- $\sigma_1 = \frac{1}{|C_1|} \sum_{i=0}^k (i - \mu_1)^2 H(i)$
- $\sigma_2 = \frac{1}{|C_2|} \sum_{i=k+1}^{255} (i - \mu_2)^2 H(i)$
Où σ_1 et σ_2 les variances de C_1 respectivement C_2
- Puis on calcule la fonction d'estimation $W(k) = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$
- En variant k de $k + 1$ à 254, on détermine k_0 le niveau correspondant au minimum de $W(k)$.
- Ce niveau représente le seuil optimum.