

Chapitre3:

**Filtrage spatial, fréquentiel
et compression d'image.**



Introduction:

Le traitement d'image est le processus de manipulation des images numériques pour améliorer leur qualité, extraire des informations utiles, ou effectuer d'autres opérations telles que la reconnaissance d'objets, la segmentation, etc.

Avant de comprendre l'étape de traitement d'image, il est essentiel de connaître quelques concepts fondamentaux sur la numérisation des images:

Ces étapes sont l'échantillonnage, la quantification et conversion analogique numérique:

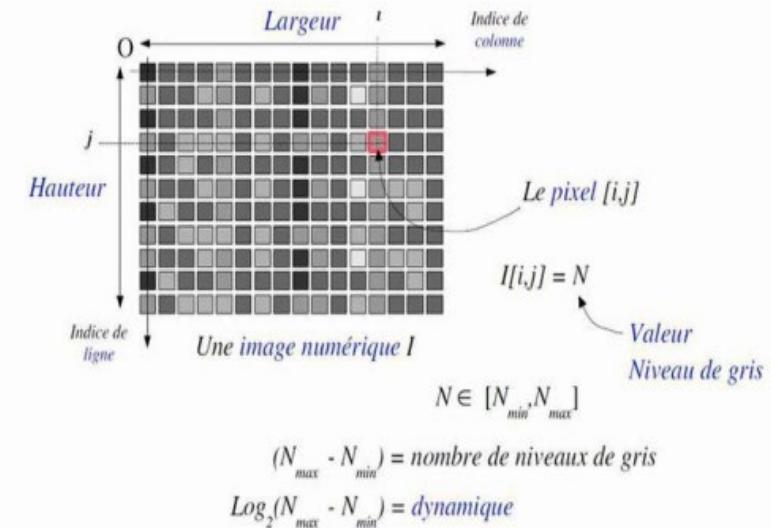
L'échantillonnage:

L'image est divisée en une grille de petits éléments appelés pixels. Chaque pixel est échantillonné à un emplacement spécifique sur l'image. La densité de pixels (résolution) détermine la qualité et la netteté de l'image numérique. Plus la résolution est élevée, plus l'image sera détaillée.

La quantification:

À chaque pixel échantillonné, des valeurs numériques sont attribuées pour représenter les caractéristiques de l'image, telles que la couleur, la luminosité, ou l'intensité. Ces valeurs peuvent être représentées en niveaux de gris pour les images en noir et blanc, ou en valeurs RVB (rouge, vert, bleu) pour les images couleur.

Pixels et niveaux de gris



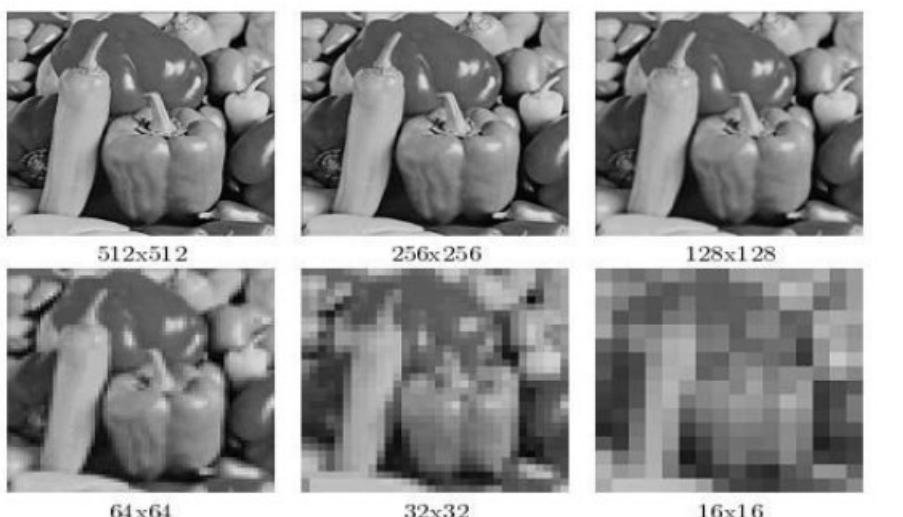


L'échantillonnage est le procédé de discréétisation spatiale d'une image réelle consistant à associer à chaque pixel une unique valeur $I(i,j)$. On parle de sous-échantillonnage lorsque l'image est déjà discréétisée et qu'on veut diminuer le nombre de pixels.

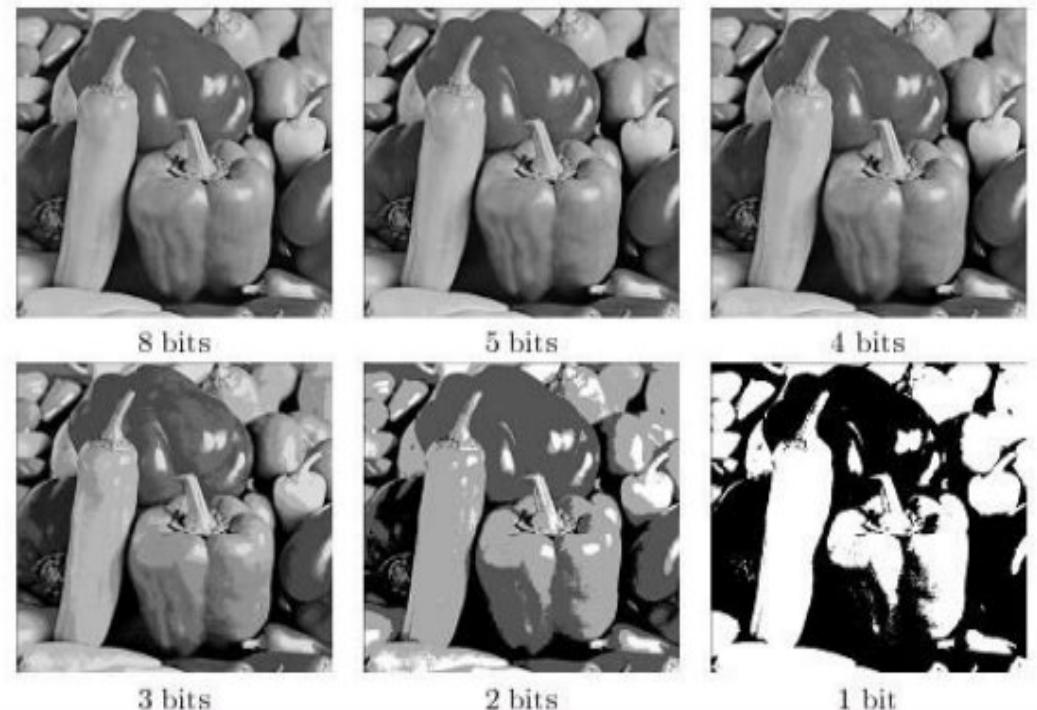
La quantification désigne la discréétisation tonale correspondant à la limitation du nombre de valeurs différentes que peut prendre chaque pixel. Une image numérique est donc une image échantillonnée et quantifiée

3. Résolution spatiale et tonale

Les deux figures suivantes montrent des exemples d'une même image acquise à des résolutions différentes.



La résolution spatiale : effet de l'échantillonnage



La résolution tonale : effet de la quantification

3. Codage des images

Pour pouvoir stocker et transmettre cette image comme n'importe quelle autre donnée informatique, chaque pixel de l'image doit être codé en *binnaire* (suite de 0 et de 1) en utilisant un nombre de bits B fixe. Le nombre de bits B utilisé influe directement sur la qualité de l'image. Si le nombre de bits est B , alors on obtient 2^B nuances possibles dans l'image.

Nous avons 3 cas particuliers pour les images fixes :

Codage à 2 niveaux : image binaire

- **B = 1** (un seul bit) : dans ce cas, nous avons seulement 2 couleurs (0 : noir et 1 : blanc) et l'image obtenue est ainsi dite une image noir et blanc.



Images Binaires : exemple



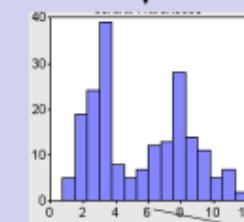
- Images à 2 valeurs (0 ou 1)
- Simple à étudier et analyser
- très utile pour les applications industrielles

• Obtenu à partir d'une image à niveaux de gris (ou couleur) $g(x, y)$ par Seuillage

- Fonction caractéristique

$$b(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } g(x, y) < T \\ 0 & \text{if } g(x, y) \geq T \end{cases}$$

Choisir un Seuil



Histogramme Bimodal



Seuil

Codage de niveaux de gris : Exemple

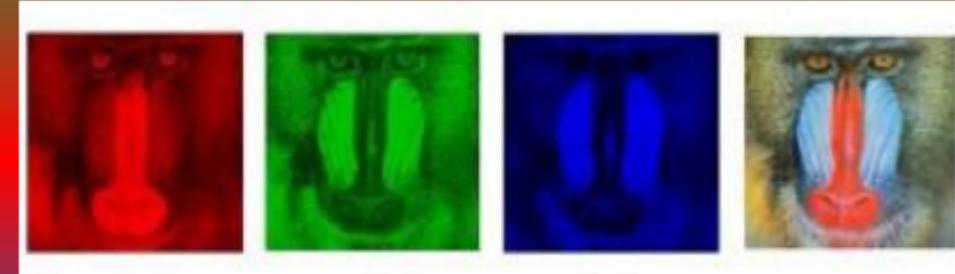
- $B = 8$ (un seul octet) : dans ce cas, nous avons $2^8 = 256$ couleurs possibles (de 0 jusqu'à 255). La valeur 0 pour le noir, 255 pour le blanc et les autres intensités (de 1 jusqu'à 254) sont des niveaux de gris.
L'image obtenue est dite image en niveaux de gris.



Image en niveaux de gris

Codage des couleurs : exemple

- $B = 24$ (3 octets) : dans ce cas, nous utilisons 3 octets pour représenter 3 composantes RVB (*Rouge, Vert et Bleu*) ou RGB. Alors, l'image obtenue est une image couleurs.



Les 3 composantes RVB et l'image couleur correspondante

Les formats d'images

Pour représenter une image, on peut la décrire à l'aide de :

- fonctions mathématiques (représentation vectorielle) ou
- par l'ensemble des points qui la composent (représentation matricielle).

Différence entre Image dans le domaine spatial et dans le domaine fréquentiel:

Domaine spatial :

- Dans le domaine spatial, une image est représentée par une matrice bidimensionnelle de pixels où chaque pixel est associé à une position spatiale spécifique (coordonnées x et y) et une valeur de couleur.
- Dans cette représentation, les variations d'intensité lumineuse sont directement liées à la position spatiale des pixels. Les opérations de traitement d'image telles que le filtrage, la détection de contours, ou la mise à l'échelle sont effectuées en fonction de cette disposition spatiale.

Domaine fréquentiel :

- Dans le domaine fréquentiel, une image est analysée en termes de fréquences spatiales plutôt qu'en termes de positions spatiales. La transformée de Fourier est souvent utilisée pour convertir une image du domaine spatial en son équivalent dans le domaine fréquentiel.
- Dans cette représentation, l'image est décomposée en ses composantes de fréquence spatiale, où les basses fréquences représentent les variations lentes (par exemple, les zones homogènes de l'image), tandis que les hautes fréquences représentent les variations rapides (par exemple, les bords et les détails de l'image).
- Les opérations de traitement d'image dans le domaine fréquentiel impliquent généralement la manipulation de ces composantes de fréquence, comme le filtrage des hautes fréquences pour flouter l'image ou le filtrage des basses fréquences pour accentuer les détails.

La transformée de Fourier d'une image:

La TF **bi-dimensionnelle** et son inverse

- TF **(cas continu)**

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy$$

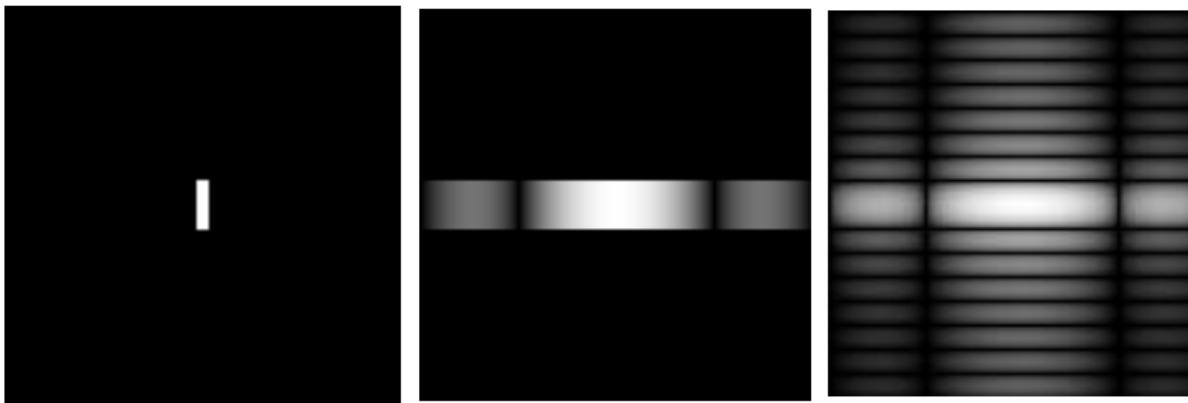
- TF Inverse :

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv$$

La TFD 2-D et son Inverse

La TFD 2-D $F(u,v)$ peut être obtenue par:

1. calculer la TFD 1-D pour chaque ligne de l'image $f(x,y)$, $\rightarrow F(u,y)$,
2. calculer la TFD 1-D pour chaque colonne de $F(u,y)$ $\rightarrow F(u,v)$



(a) $f(x,y)$

(b) $F(u,y)$

(c) $F(u,v)$

Phase et Amplitude

- **Fait Curieux:**

- Toutes les images naturelles possèdent à peu près le même spectre d'amplitude
- Ainsi, la phase semble très importante

- **Démonstration:**

- Prendre deux images, interchanger leur spectre de phase , calculer la TF inverse – Que serait le résultat ?



Quelque traitement sur les images dans le domaine spatial et fréquentiel

Traitement dans le domaine spatial

- Transformation d'images
 - Point Processing Transformations / ponctuel
 - Pixel Mapping / transformation des pixels
 - Histogram Processing / traitement d'histogramme
 - Area/Mask Processing Transformations / fenêtres
 - Image Filtering / filtrage d'image
 - Frame Processing Transformations / traitement video
 - Geometric Transformations / géométriques

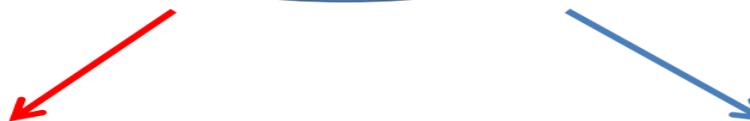
Filtrage d'Images

- Image comme fonction
- Filtres Linéaires
- Exemples de filtres: Box, Gaussien

Filtrage d'Images

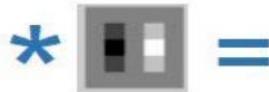
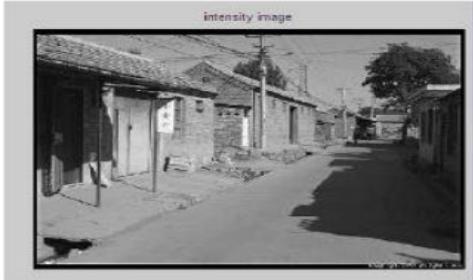
Filtrage Spatial

Filtrage Frequentiel



Filtrage dans le domaine spatial

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1



Exemples de Traitement par Point

originale



$$I(X, Y)$$

noircie



$$I(X, Y) - 128$$

Contraste réduit



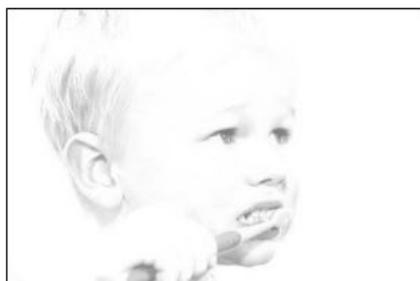
$$\frac{I(X, Y)}{2}$$

inverser



$$255 - I(X, Y)$$

illuminer



$$I(X, Y) + 128$$

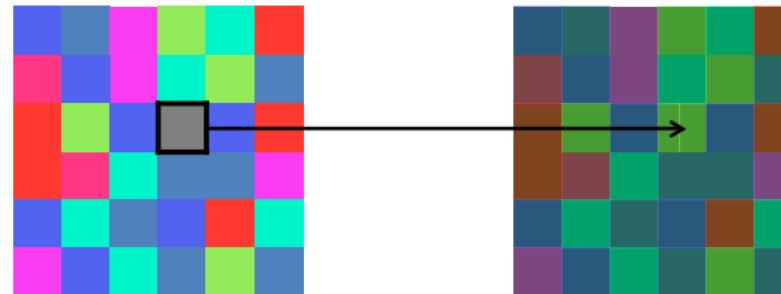
Contraste élevé



$$I(X, Y) * 2$$

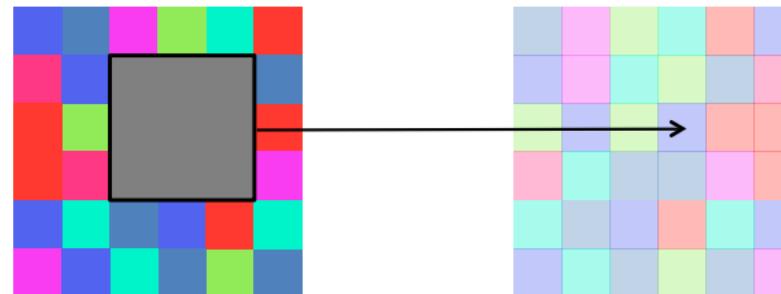
Types de **filtrage**?

Operation Point



Traitement ponctuel

Operation sur **Voisinage**

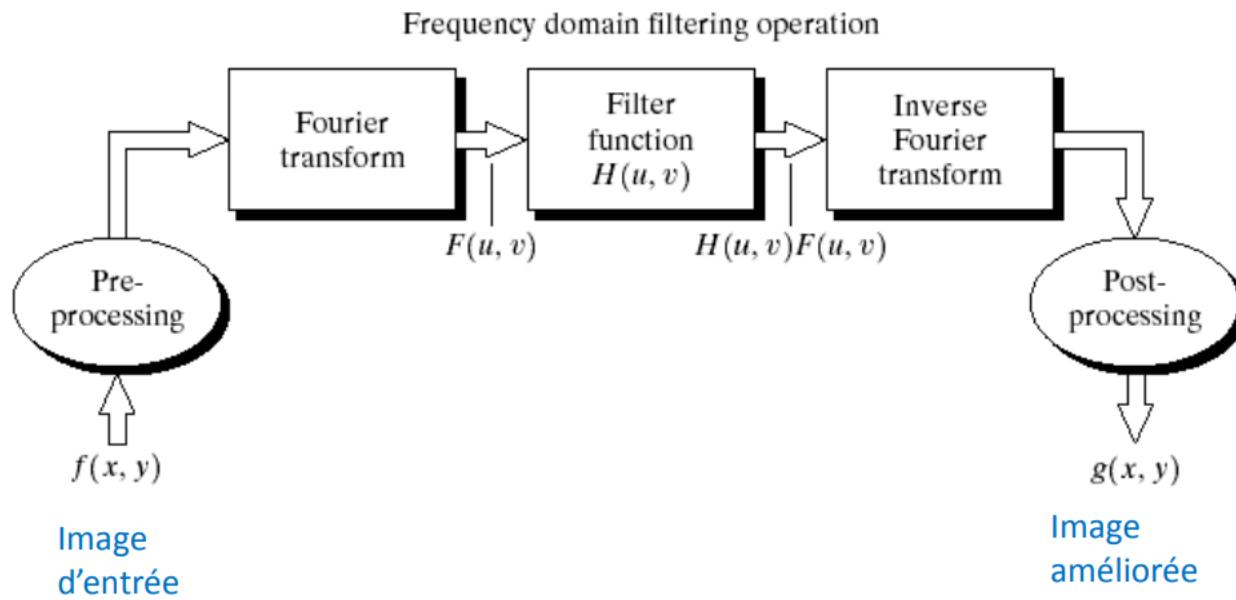


“filtrage”

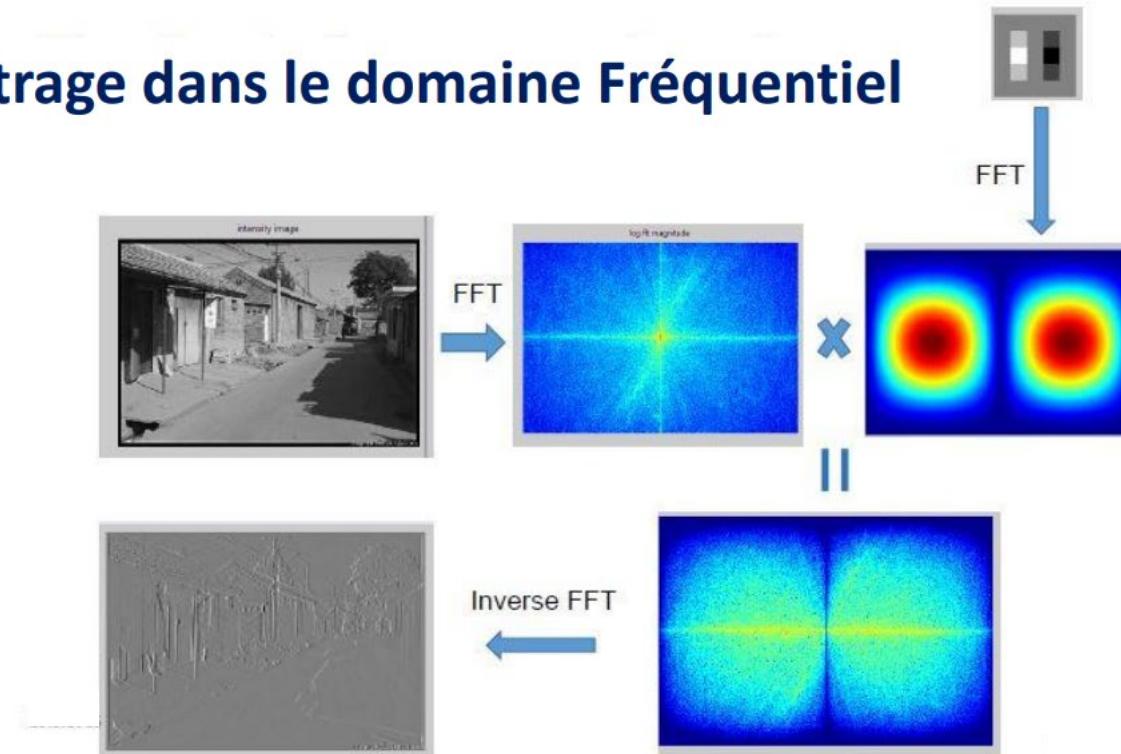
Traitement sur les images dans le domaine fréquentiel:

- **Filtrage fréquentiel** : En filtrant une image dans le domaine fréquentiel, on peut réaliser différentes opérations telles que le floutage, la suppression du bruit, la mise en évidence des contours, etc. Les filtres fréquentiels tels que les filtres passe-bas (pour supprimer les hautes fréquences et lisser l'image) et les filtres passe-haut (pour accentuer les bords et les détails) sont largement utilisés dans ce domaine.
- **Compression d'image** : Les techniques de compression d'image basées sur le domaine fréquentiel, telles que la compression JPEG, exploitent les propriétés de l'image dans le domaine des fréquences pour réduire la taille du fichier tout en préservant une qualité d'image acceptable. Ces techniques exploitent le fait que de nombreuses informations dans une image sont contenues dans les basses fréquences, tandis que les hautes fréquences représentent généralement les détails fins.
- **Restauration d'image** : Dans le domaine fréquentiel, il est possible de supprimer le bruit et d'améliorer la qualité des images dégradées en utilisant des techniques telles que la déconvolution et le filtrage adaptatif. Ces méthodes peuvent restaurer les détails perdus tout en minimisant la perte de qualité globale de l'image.
- **Détection de motif et de texture** : En analysant les caractéristiques de fréquence d'une image, il est possible de détecter des motifs récurrents ou des textures spécifiques dans l'image. Cela peut être utile dans des applications telles que la reconnaissance d'objet, la surveillance vidéo, ou la détection de défauts dans des matériaux.

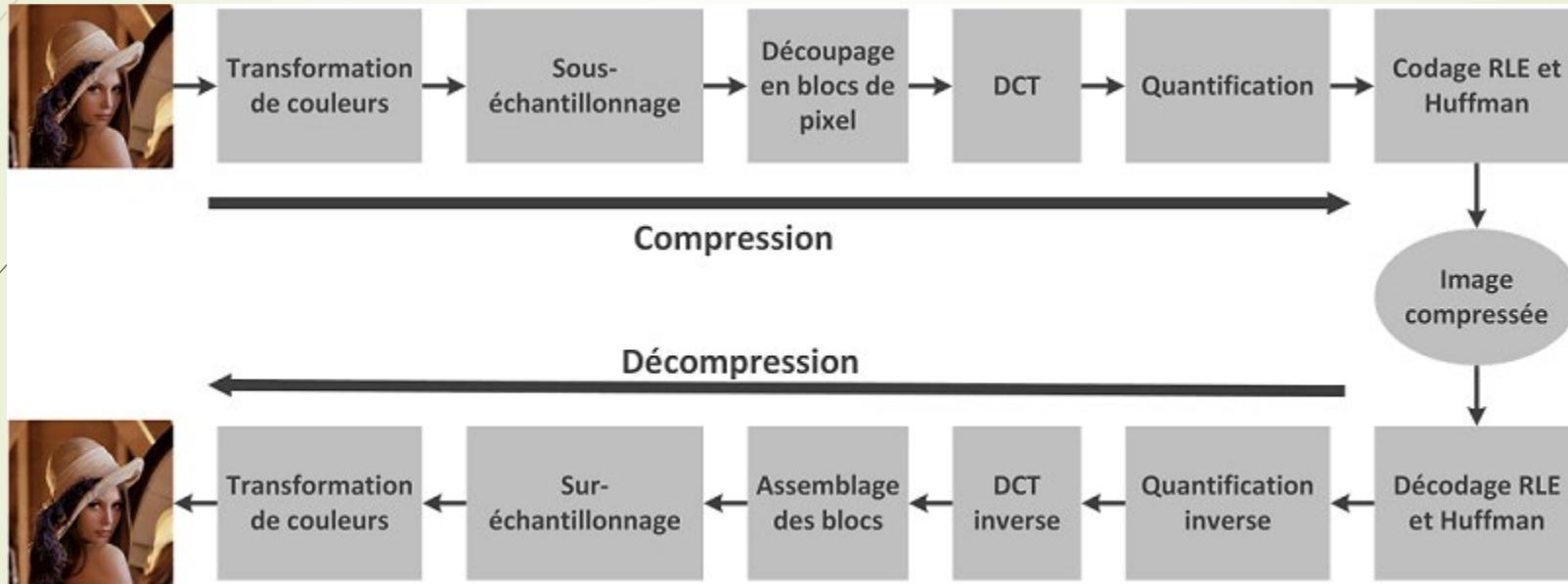
Schéma de Base du Filtrage Fréquentiel



Filtrage dans le domaine Fréquentiel



Compression d'image JPEG:



1. Transformation en domaine fréquentiel : Tout d'abord, l'image est convertie du domaine spatial (c'est-à-dire une représentation pixel par pixel) en son équivalent dans le domaine fréquentiel en utilisant une transformation comme la transformée en cosinus discrète (DCT). La DCT permet de représenter l'image en termes de fréquences spatiales, ce qui est efficace pour la compression car elle regroupe l'énergie de l'image dans un petit nombre de coefficients de fréquence.

2. Quantification : Une fois que l'image est transformée en domaine fréquentiel, une opération de quantification est appliquée aux coefficients de fréquence. La quantification consiste à arrondir les coefficients de fréquence à des valeurs discrètes en fonction d'une table de quantification. Cette étape est fondamentale pour la compression, car elle permet de réduire la précision des coefficients de fréquence et donc de réduire la quantité d'information nécessaire pour représenter l'image.

3. Codage entropique : Les coefficients de fréquence quantifiés sont ensuite compressés à l'aide de techniques de codage entropique telles que la codification différentielle, la codification par longueur de course (RLE), et la codification Huffman. Ces techniques exploitent les propriétés statistiques des données pour réduire davantage la taille du fichier compressé.

4. Sous-échantillonnage chromatique : Dans le cas des images couleur, le sous-échantillonnage chromatique est souvent utilisé pour réduire la quantité d'information relative aux composantes de couleur (chrominance) par rapport à la composante de luminance. Cela permet de réduire encore la taille du fichier compressé sans sacrifier trop de qualité visuelle.

L'ensemble de ces étapes permet de réduire considérablement la taille des fichiers image tout en préservant une qualité visuelle acceptable pour de nombreuses applications. La compression JPEG est largement utilisée dans les domaines de la photographie numérique, du web, de la transmission d'images sur les réseaux, et dans de nombreux autres contextes où la conservation de l'espace de stockage ou de la bande passante est importante.