

Chapitre 3 :

Convolution et Filtrage



- **Objectifs de la restauration (Filtrage)**
- **Sources de dégradations**
- **Modélisation et restauration**
- **Filtrage spatial**
- **Filtrage fréquentiel**

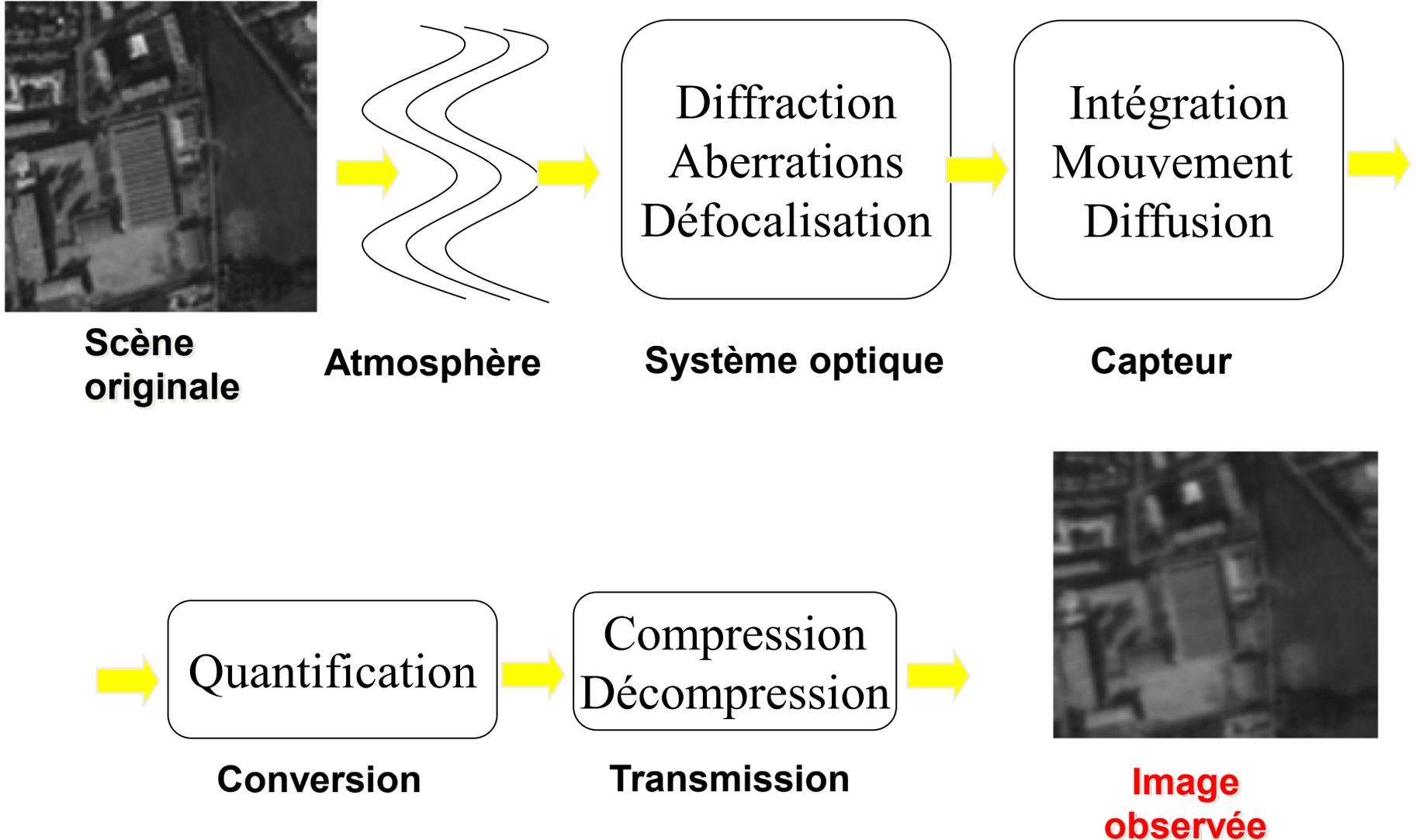


Les objectifs de la restauration

- **Définition:** Améliorer la qualité d'une image
Atténuer, supprimer les dégradations
- **Ces dégradations** apparaissent :
 - au moment de l'acquisition
 - liées à la transmission
 - changement de format ou au stockage
- **Objectif :** Fidélité de l'image restaurée avec la scène qu'elle représente
 - ⇒ modéliser la dégradation
 - ⇒ Connaître les sources de dégradations



Chaîne des dégradations



Bilan des sources de dégradation

➤ Contexte d'acquisition

- Sur ou sous illumination
- Perturbations des capteurs (mouvement)

➤ Capteur

- Distorsions (géométriques, d'intensité)

➤ Echantillonnage

- Phénomène de Moiré, si les conditions de Shannon ne sont pas vérifiées.
- Objet dont la taille est égale au pixel : bruit de poivre et sel

➤ Nature de la scène

- Nuages en imagerie satellitaire
- Images médicales

➤ Quantification

- 256 niveaux de gris : pas gênant pour un utilisateur humain



À propos du bruit

- La **restauration** de l'image I vise à en réduire le bruit et à trouver l'image idéale \underline{I} qui aurait été obtenue avec un système d'acquisition parfait.
- Le bruit $b(x,y)$ est souvent considéré comme **aléatoire**.
 - Bruit **additif** : $I(x,y) = \underline{I}(x,y) + b(x,y)$
 - Bruit **multiplicatif** : $I(x,y) = \underline{I}(x,y) \cdot b(x,y)$
- Types :
 - Bruit d'amplification
 - **Origine** : dérive thermique des composants
 - **Modélisation** : bruit additif à distribution normale
 - Bruit « Poivre et sel » (impulsionnel)
 - **Origine** : pixels défectueux, erreurs de CAN, ...
 - **Modélisation** : remplacement de n % pixels par 0 ou 255
 - Bruit de quantification
 - **Origine** : quantification des valeurs en niveaux discrets
 - **Modélisation** : variable aléatoire à distribution uniforme

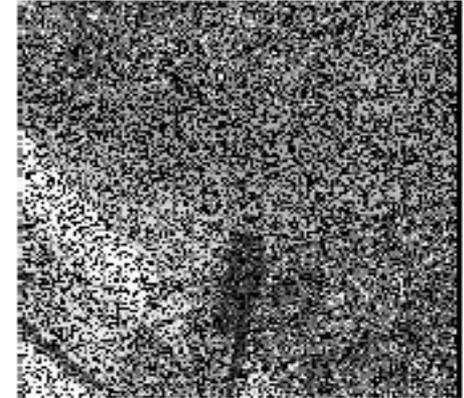
Exemples de dégradations



Image originale



Bruit poivre et sel



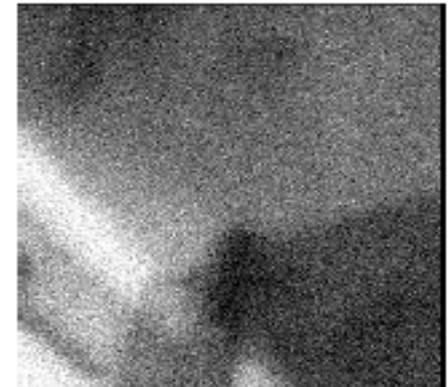
Speckle



Bruit Gaussien additif



Bruit multiplicatif



Flou et bruit Gaussien

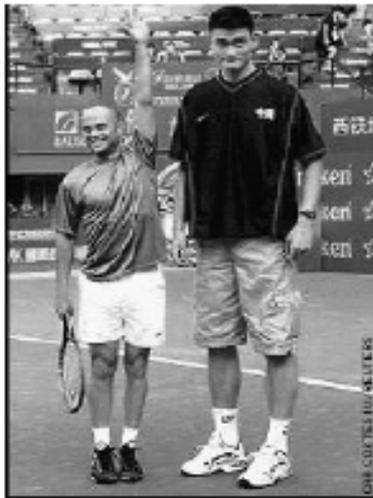


Bruit de poivre et sel

- Définition.

Un bruit "poivre et sel" d'ordre n est obtenu en ajoutant n pixels blancs et n pixels noirs aléatoirement dans une image.

On le caractérise souvent par le pourcentage de pixels remplacés.



Originale



5%



15%



30%

Bruit Gaussien

- Définition. Loi de distribution Gaussienne de variance σ et moyenne μ :

Le bruit Gaussien est obtenu en ajoutant à chaque pixel une valeur aléatoire suivant une loi de probabilité Gaussienne.

$$G_{\sigma, \mu}(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(s - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$



Originale



$\sigma = 20$



$\sigma = 40$



$\sigma = 60$

Filtres de lissage

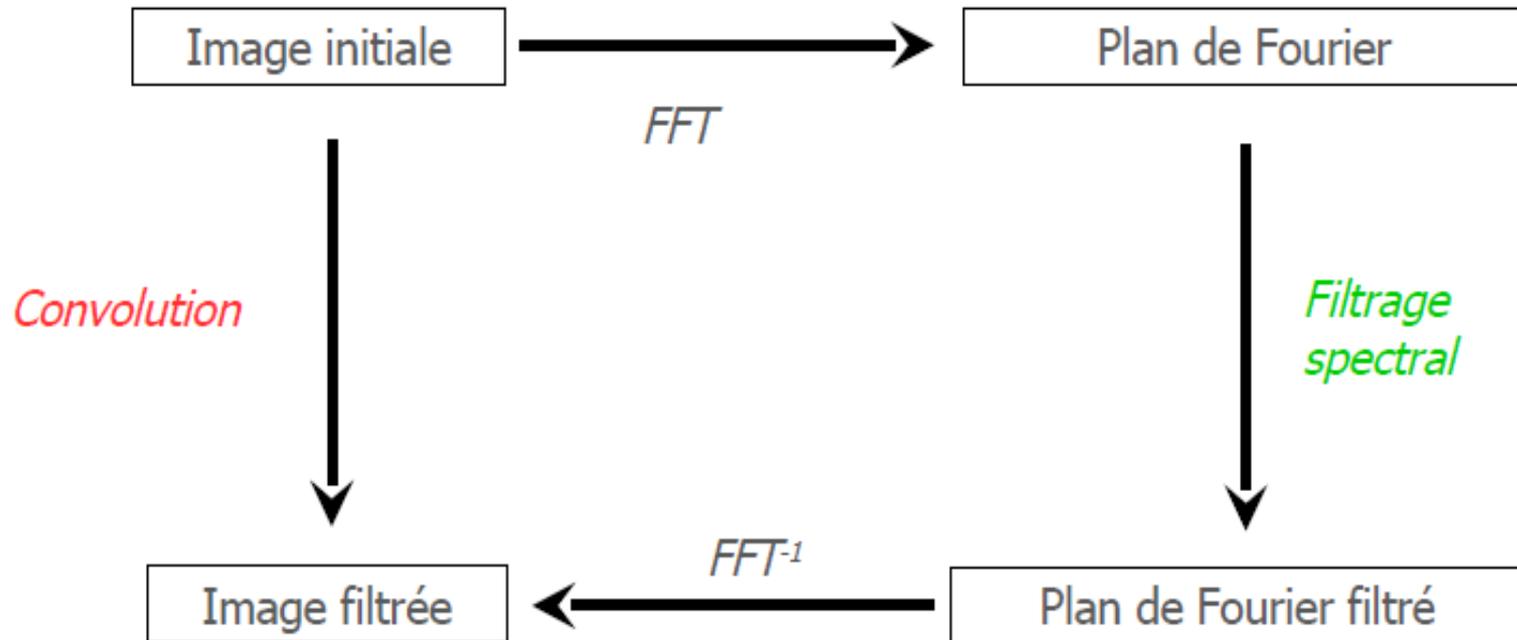
Les **filtres de lissage** sont des opérateurs qui *éliminent des éléments perturbateurs / non significatifs* dans les images numériques,

- soit pour *améliorer leur visualisation*,
- soit pour les *simplifier en but* d'un traitement postérieur

Objective du Cours :

1. *Filtrage spatial* ⇒ *Filtrage par convolution*
2. *Filtrage Fréquentiel* ⇒ *Filtrage dans le domaine de Fourier*

Filtrage Spatial/Fréquentiel



Dans le **domaine spatial**, le filtrage se fait par **convolution**.

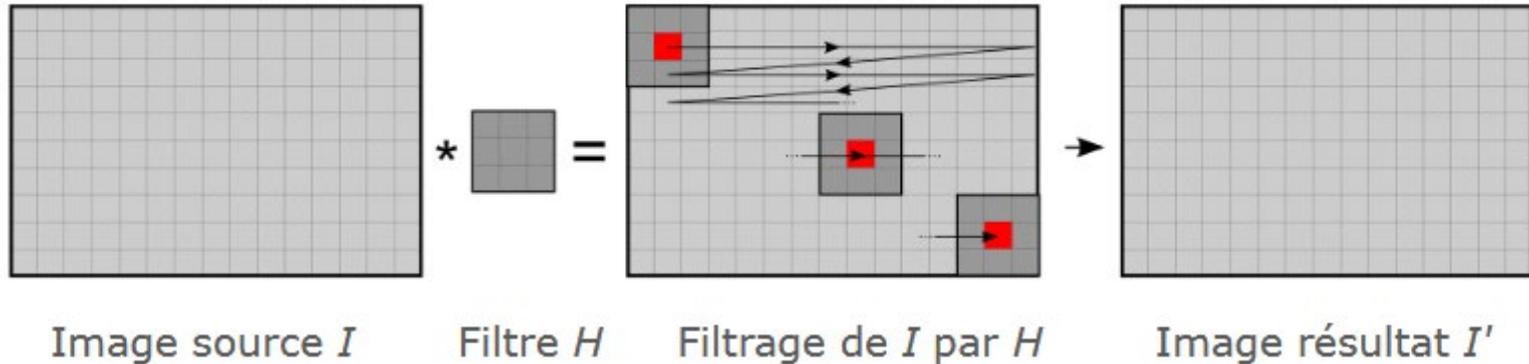
Dans le **domaine spectral**, il se fait par **multiplication** (ou **masquage** de l'image).

1. Filtrage Spatial



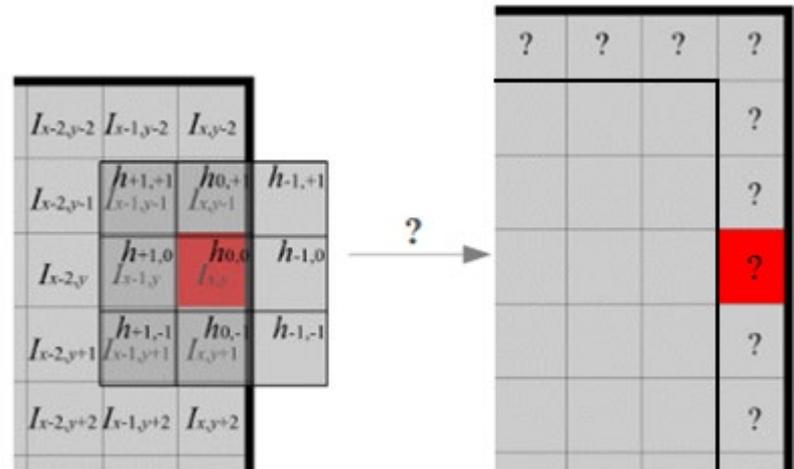
Filtrage Spatial : Convolution

Convolution discrète 2D : calcul



Effets de bords

- **Problème** : comment traiter les pixels situés aux bords de l'image ?
- **Stratégies possibles** :
 - pixels extérieurs = 0
 - miroir (virtuel) de l'image :



Filtrage Spatial : Convolution

Propriétés de la convolution

- Additivité / distributivité : $(I * h_1) + (I * h_2) = I * (h_1 + h_2)$
- Commutativité : $I * h = h * I$
- Associativité : $(I * h_1) * h_2 = I * (h_1 * h_2)$
- Un filtre de convolution est dit **séparable** si : $h(x, y) = h_x(x) * h_y(y)$

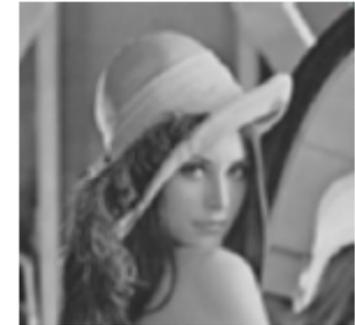
$$[a \quad b \quad c] * \begin{bmatrix} a' \\ b' \\ c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aa' & ba' & ca' \\ ab' & bb' & cb' \\ ac' & bc' & cc' \end{bmatrix}$$

- Élément neutre : $\delta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow (\delta * I)(x, y) = I(x, y)$

Types de filtres

Types de filtres

- **Filtres passe-bas, ou de lissage**
 - Principe : moyenne pondérée des valeurs du voisinage
 - Effet : lissage de l'image (variations atténuées)
 - Avantage : atténuation du bruit
 - Inconvénient : atténuation des détails, flou
 - Caractérisation : coefficients tous positifs
- Filtres passe-haut, ou de contours
 - Principe : dérivation de la fonction image
 - Effet : accentuation des détails de l'image
 - Avantage : mise en évidence des contours/détails
 - Inconvénient : accentuation du bruit
 - Caractérisation : coefficients de somme nulle



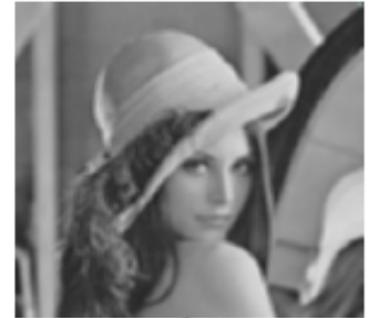
lissage



Types de filtres

Types de filtres

- **Filtres passe-bas, ou de lissage**
 - Principe : moyenne pondérée des valeurs du voisinage
 - Effet : lissage de l'image (variations atténuées)
 - Avantage : atténuation du bruit
 - Inconvénient : atténuation des détails, flou
 - Caractérisation : coefficients tous positifs
- **Filtres passe-haut, ou de contours**
 - Principe : **dérivation** de la fonction image
 - Effet : accentuation des détails de l'image
 - Avantage : mise en évidence des contours/détails
 - Inconvénient : accentuation du bruit
 - Caractérisation : coefficients de somme nulle



lissage

dérivation



Filtres de lissage

- **Principe**
 - Utilité : restauration de l'image (élimination du bruit) par lissage.
 - Inconvénient : suppression des hautes fréquences (filtres passe-bas), d'où dégradation des contours et effet de flou.
- **Variétés**
 - Plusieurs types de filtres possédant chacun des avantages propres.
 - Plusieurs tailles possibles, selon l'étendue du voisinage à considérer : 3×3 , 5×5 , ... l'effet de flou est d'autant plus marqué que la taille est grande.
- **Principaux filtres de lissage**
 - **Linéaires**
 - Caractérisés par un masque (réalisables par convolution).
 - Exemples : filtres moyenneurs, gaussiens
 - **Non-linéaires**
 - Caractérisés par un opérateur non-linéaire (non réalisables par convolution).
 - Exemple : filtre médian

Filtres de lissage linéaires : filtres moyenneurs

- **Configuration** : dépend de l'importance à donner au pixel d'analyse et à ses voisins :

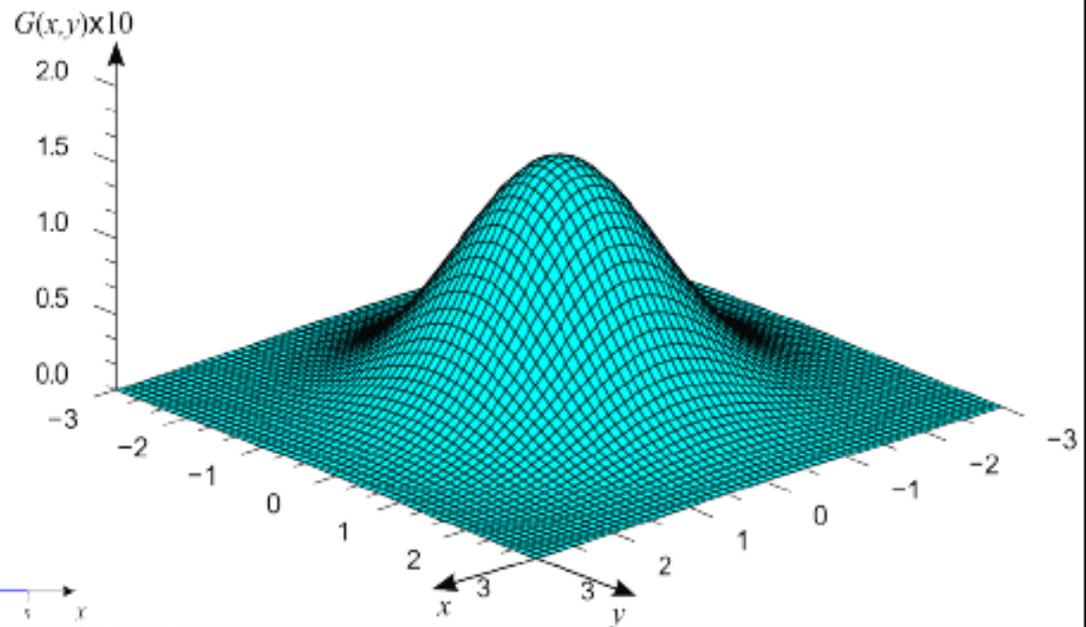
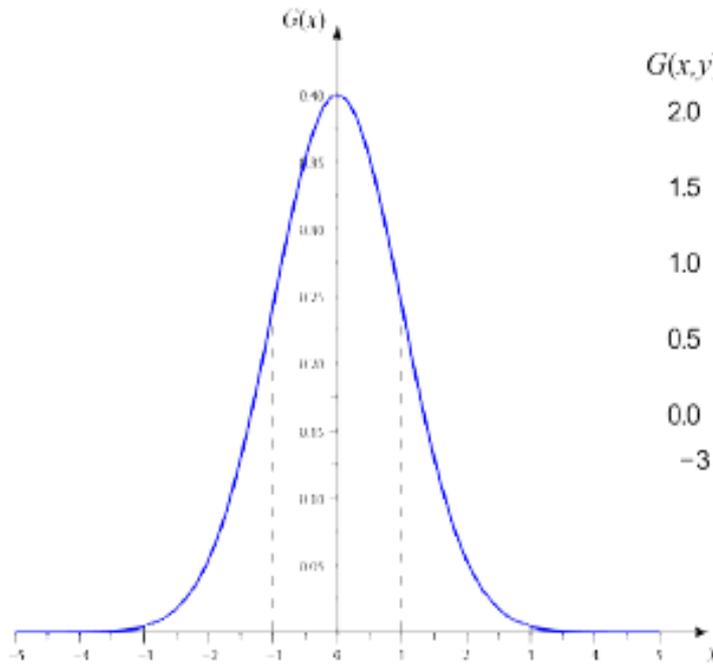
$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- **Remarque** : $|S|=1$, donc préservation de la luminance
- **Inconvénients** :
 - forte atténuation des contours (limite la performance des traitements ultérieurs)
 - forte influence des pixels aberrants isolés

Filtres de lissage linéaires : filtres gaussiens

- Paramètres : moyenne μ , écart-type σ .

$$\text{En 1D : } G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{En 2D : } G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{((x-\mu)^2 + (y-\mu)^2)}{2\sigma^2}\right)$$



Filtres de lissage linéaires : filtres gaussiens

- **Avantage** : limite l'effet de flou (contours mieux conservés)
- **Configurations** : approximations discrètes de la distribution gaussienne de moyenne $\mu=0$ dans un filtre fini. Exemples pour $\sigma=0,8$:

$$H_{G1} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ou} \quad H_{G2} = \frac{1}{2025} \begin{bmatrix} 1 & 10 & 22 & 10 & 1 \\ 10 & 106 & 231 & 106 & 10 \\ 22 & 231 & 504 & 231 & 22 \\ 10 & 106 & 231 & 106 & 10 \\ 1 & 10 & 22 & 10 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Écart-type** :
 - Détermine le degré de lissage
 - Impose la taille du masque

Filtres de lissage : exemples



Image originale



Bruit gaussien $\sigma=20$



Moy3x3



Moy5x5



Filtre gaussien $\sigma=2$



Filtres de lissage non-linéaires : filtre médian

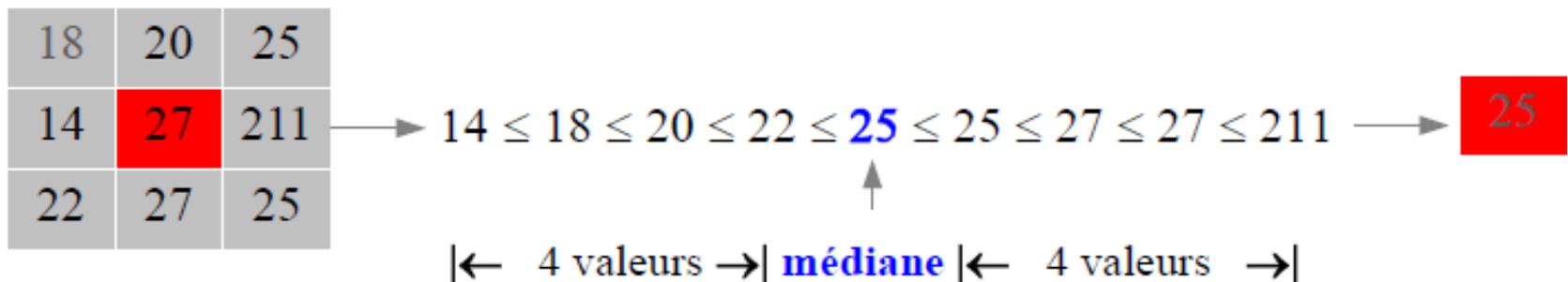
- Principe

- Le niveau de gris résultat est le niveau de gris médian des pixels voisins.
- Filtre non-linéaire, donc non réalisable par masque de convolution.

- Calcul

- Trier les niveaux par ordre croissant.
- Donner au pixel d'analyse le niveau situé au milieu des niveaux triés.

- Exemple



Filtres de lissage non-linéaires : filtre médian

- Avantages par rapport aux filtres moyenneur et Gaussien
 - Filtre mieux le bruit impulsionnel (type « poivre et sel »).
 - Ne crée pas de nouveau niveau ; préserve mieux les contours sans altérer le fond.

*I*

moy 3x3



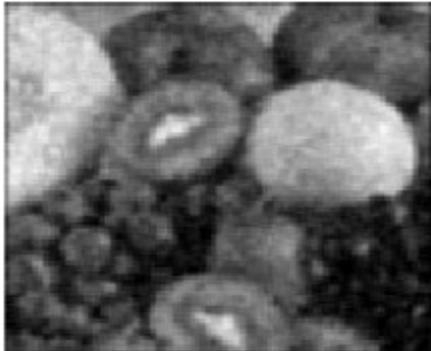
gauss 5x5



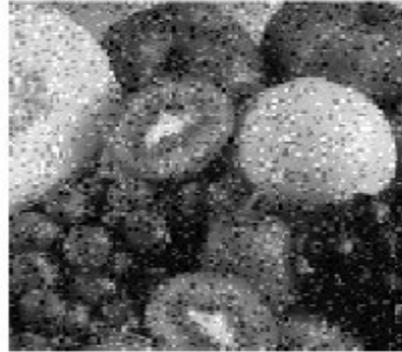
méd 3x3

- Limites et inconvénients
 - Supprime les détails fins qui ne sont pas du bruit.
 - Détruit les coins.
 - Coûteux en temps de calcul (tri).

Filtres de lissage non-linéaires : filtre médian



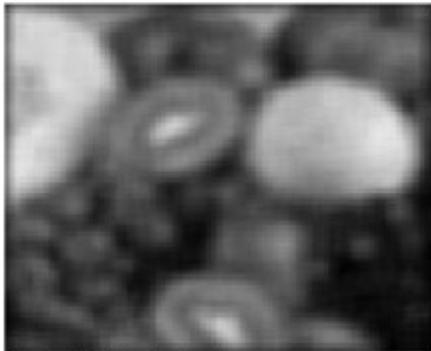
3 X 3 Moyenne



Bruit "poivre et sel"



5 X 5 Moyenne



7 X 7 Moyenne



Filtre médian



Exercices

1) Soit une image de taille 8X8 dont les niveaux de gris vérifie:

$$f[i,j] = |i-j| \quad i,j = 0,1,2,3,4,5,6,7$$

On applique un filtre médian 3X3. Donner le contenu de l'image de sortie?