

Chapitre 4 : Restauration d'images

Joël Lefebvre (UQÀM)

INF600F – Traitement d'images

Automne 2024

Annonces

- **TP2** : Remise le dimanche 20 octobre à 23h59
- **Examen intra** : mardi prochain, en classe (Ch1 à Ch4)
- **Atelier pratique** : Révision pour l'intra

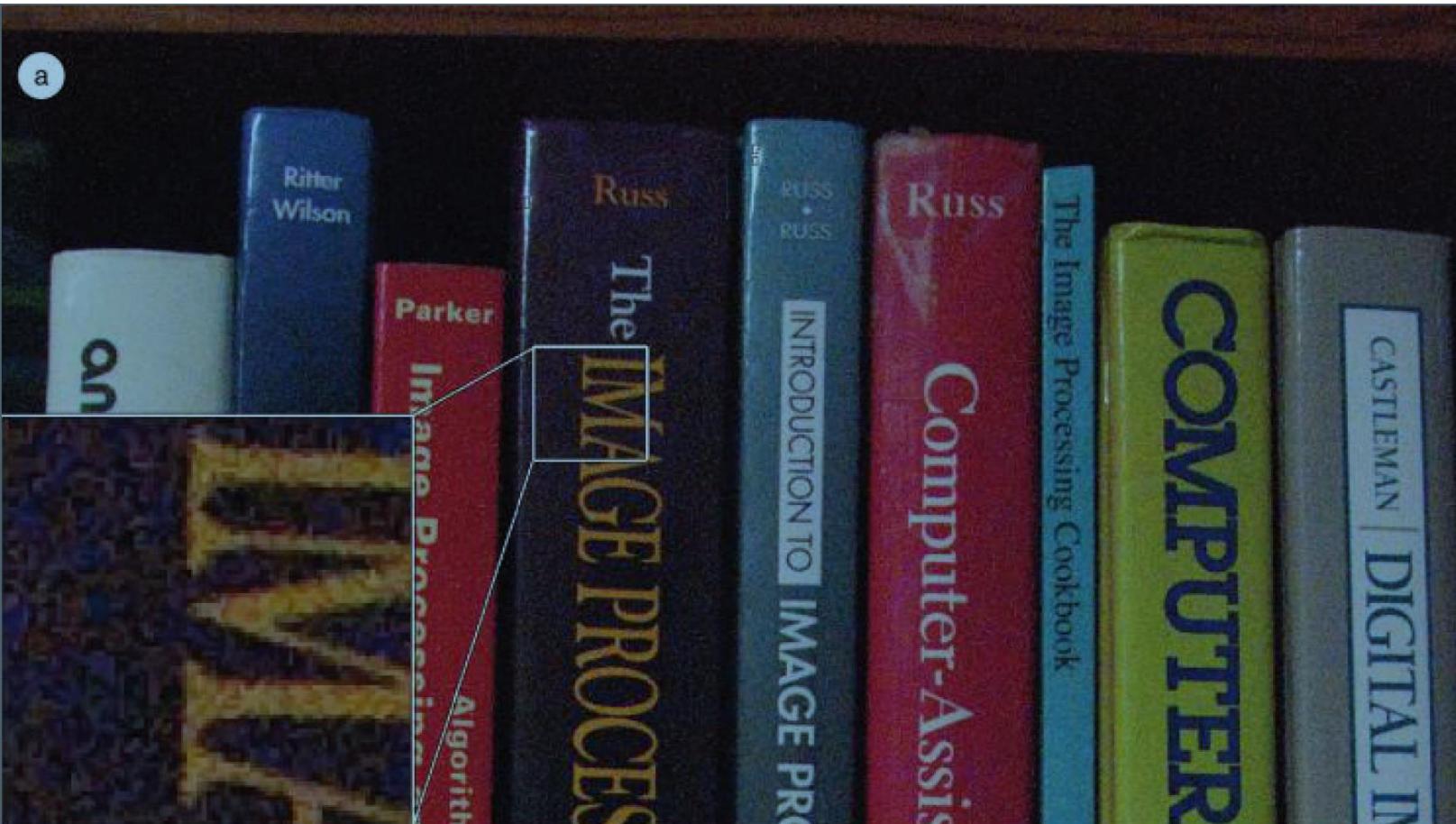
Survol du cours

- Modèle de dégradation d'images
- Modélisation du bruit
- Restauration d'images : Volet débruitage
- Restauration d'images : Volet dégradation

Références

- (Gonzalez, 2018) Chapitre 5 : Image restoration and reconstruction
- (Chityala, 2020) : Chapitre 7
- (Burger, 2009) Vol2 : Chapitres 7 et 8
- J.C. Russ, F.B. Neal. « The Image Processing Handbook », 7e édition (2016). Chapitre 6

Qu'est-ce qu'une image bruitée ?



Russ2016, figure 4.13. Image capturée avec une exposition de 1/500 sec.

Qu'est-ce qu'une image propre ?



Russ2016, figure 4.13. Image capturée avec une exposition de **1/30 sec.**

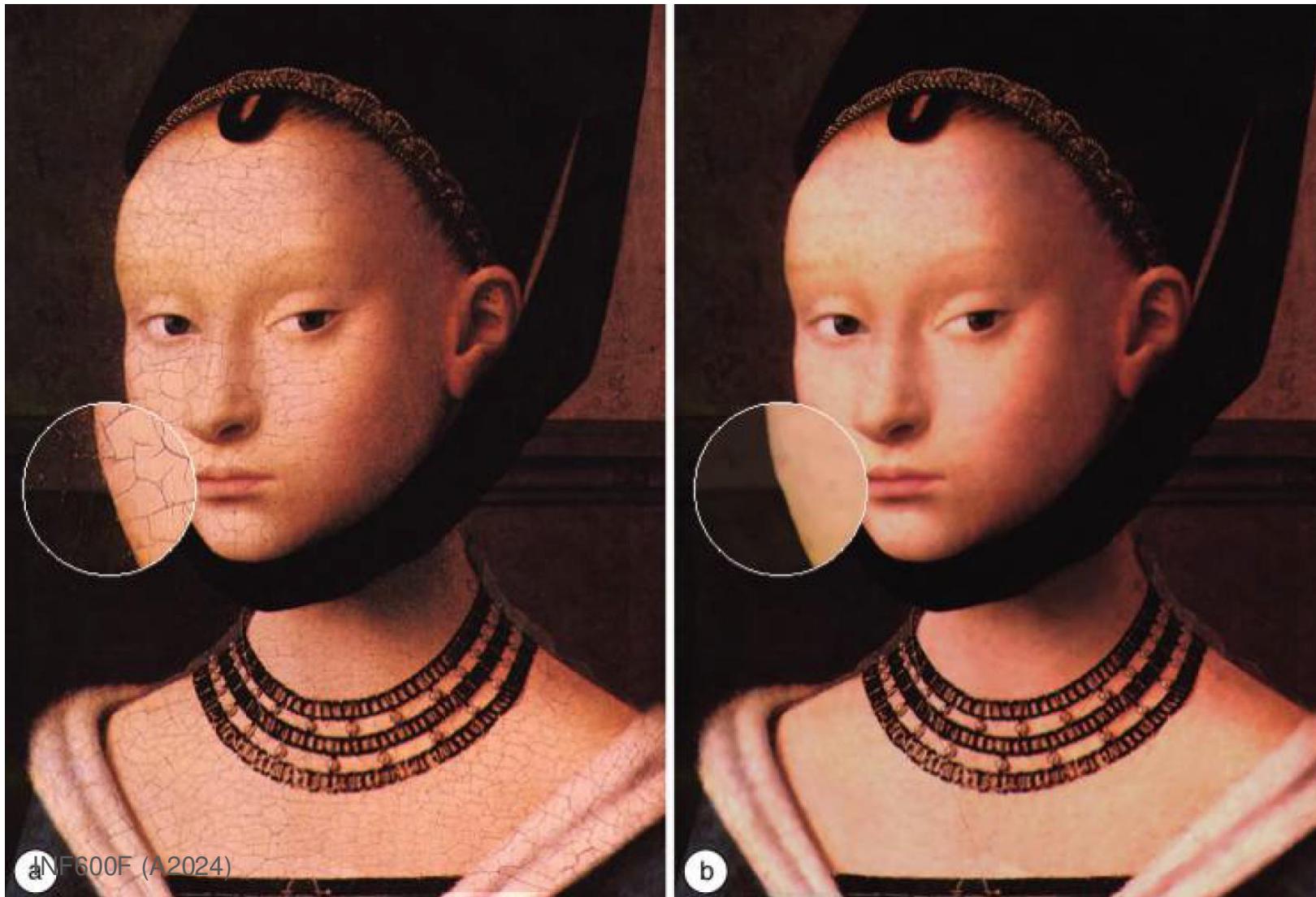
Comment nettoyer une image bruitée ?

- Filtrage spatial ou fréquentiel !
- Le type de bruit influence le choix de la méthode de débruitage



Russ2016, figure 4.20. Réduction du *shot noise* à l'aide d'un filtre médian. (a) Image originale, (b) image dégradée où 10% des pixels sont noirs et 10% sont blancs (au hasard), (c) filtre médian carré 3x3, (d) filtre médian octogonal 5x5

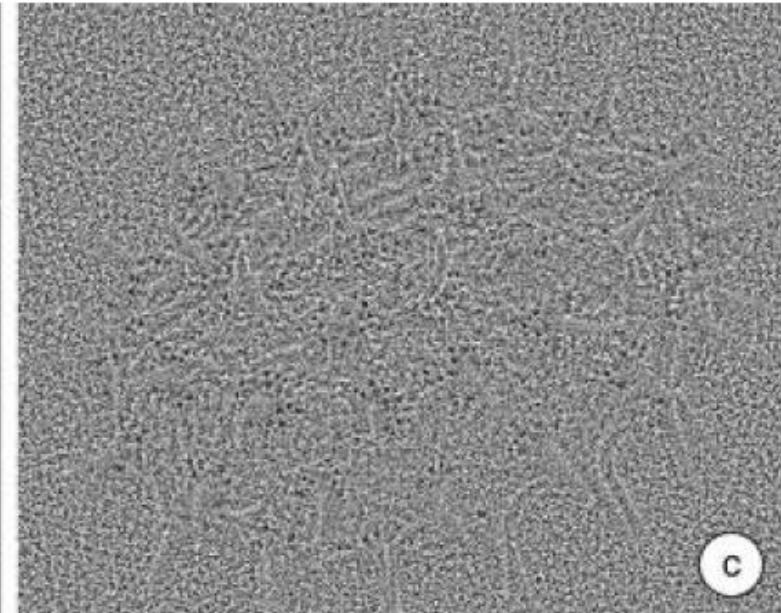
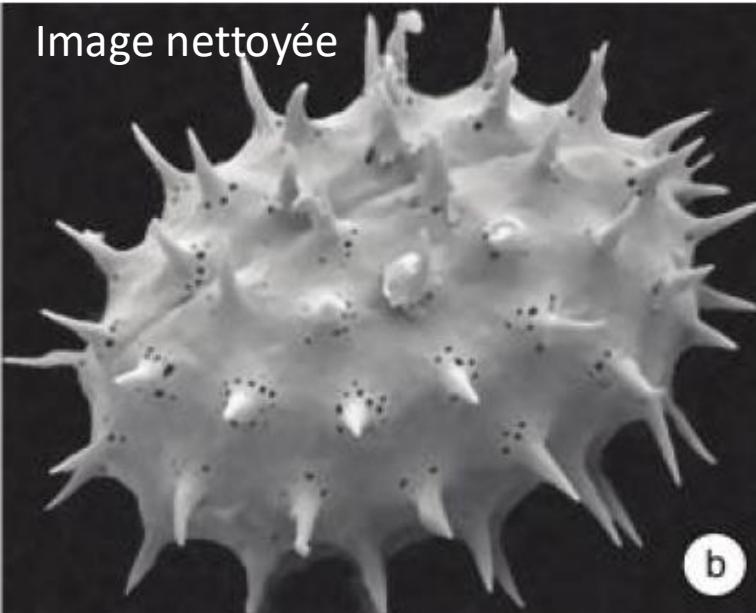
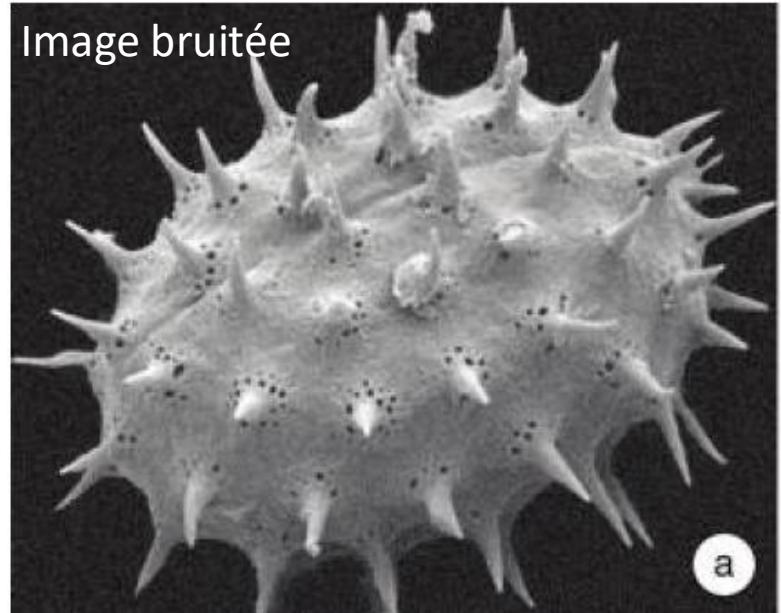
Exemple de restauration numérique



Russ2016, Fig 4.29. Portrait de femme, peint en 1470 par Petrus Christus, peintre flamand de la Renaissance (Gemäldegalerie der Staatlichen Museen, Berlin-Dahlem)

- (a) aspect actuel, montrant des **fissures et la décoloration des couleurs** ;
- (b) (b) application d'un **filtre médian de couleur** pour combler les fissures grises.

Exemple de débruitage



(Russ2016, Fig 4.40)

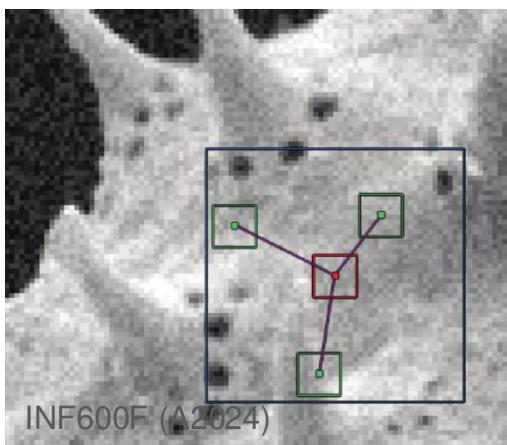
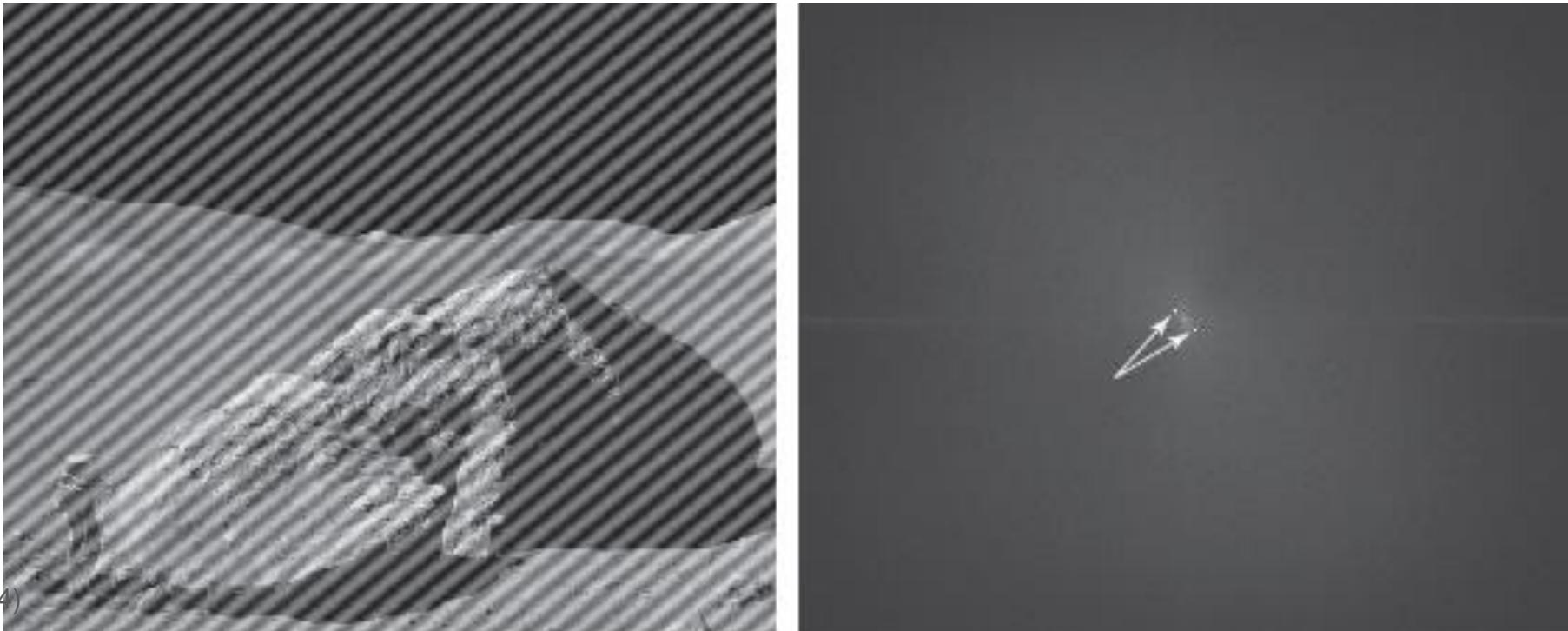


Illustration de la méthode des **moyennes non locales (*Nonlocal means*)**, une méthode moderne très performante. (Russ2016, Fig 4.39)

Qu'est-ce qu'un bruit périodique ?

- Généralement causé par une **interférence** (électrique, électromécanique, etc.) durant l'acquisition
- Peut être réduit significativement dans le **domaine fréquentiel**
- **Exemple** : Corruption par un bruit sinusoïdal additif



Qu'est-ce qu'une dégradation ?

- Détérioration de l'image introduite par l'optique, des mouvements de caméra, et d'autres phénomènes qui **affectent tous les pixels de la même façon** et introduisent un flou.

Mouvement de la caméra
durant l'acquisition

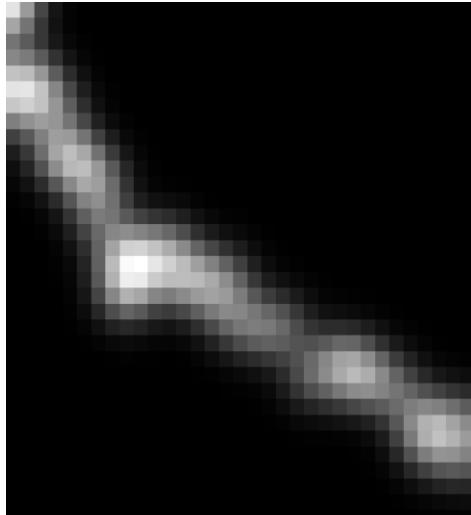
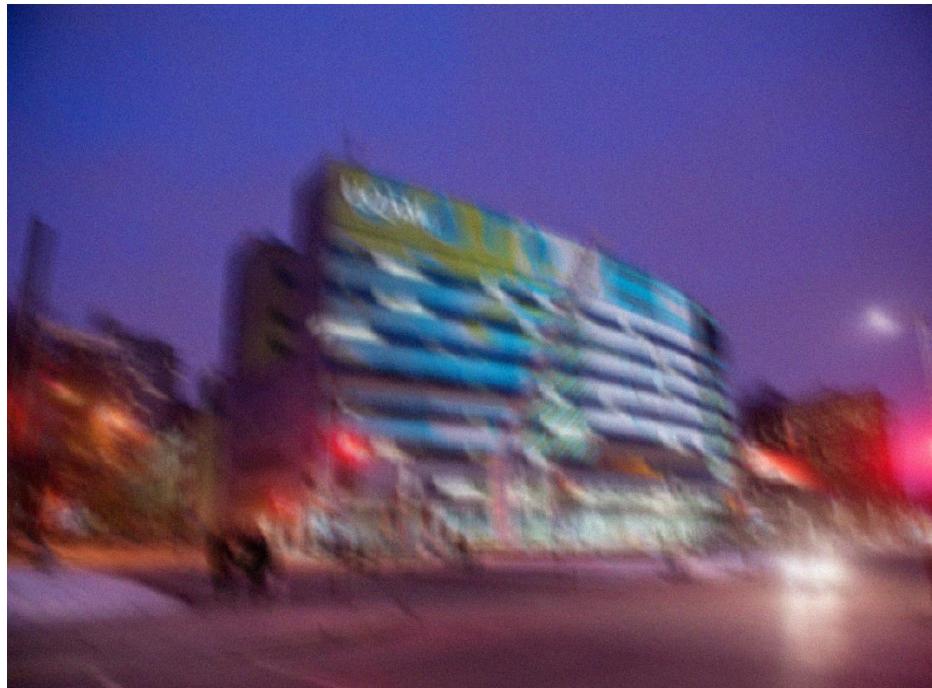


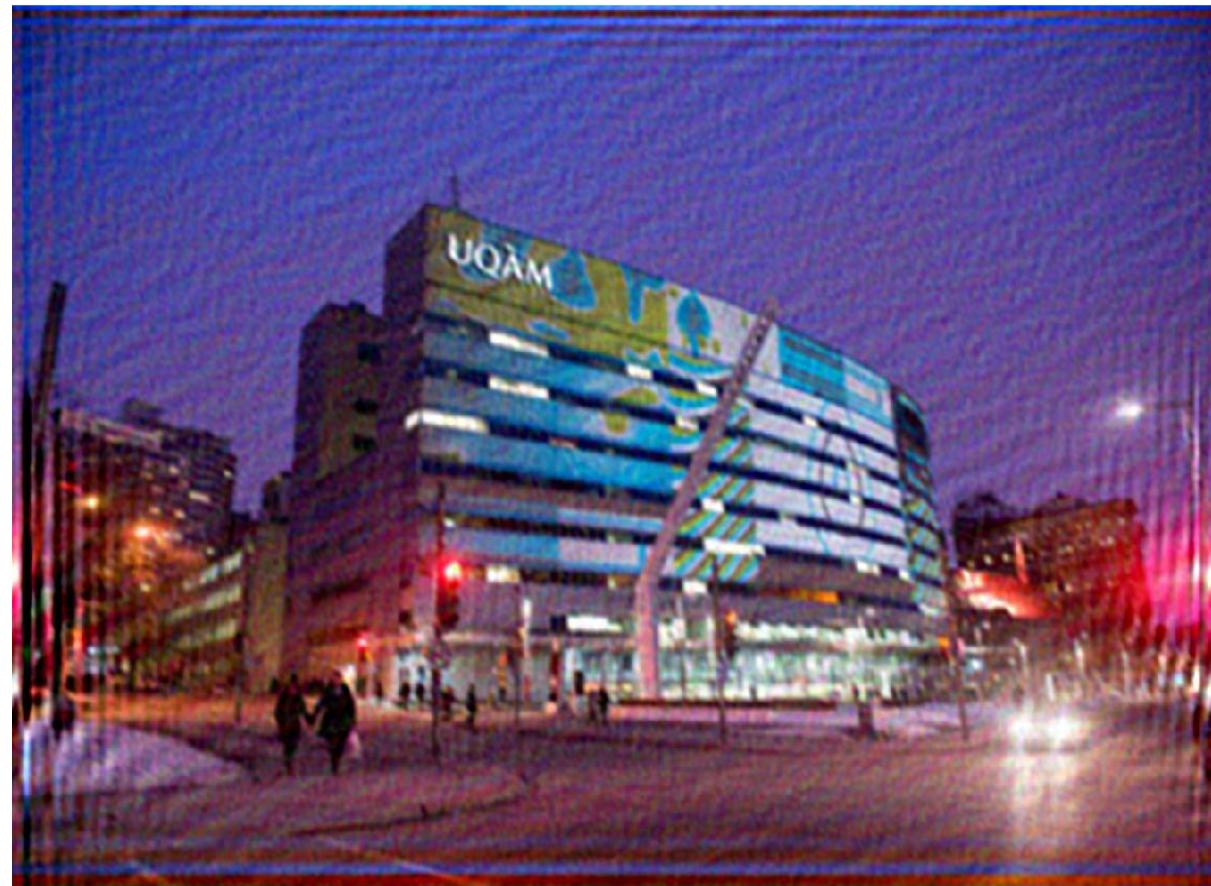
Image dégradée



Comment restaurer une image dégradée ?

Déconvolution de Wiener

Zoom & Enhance !

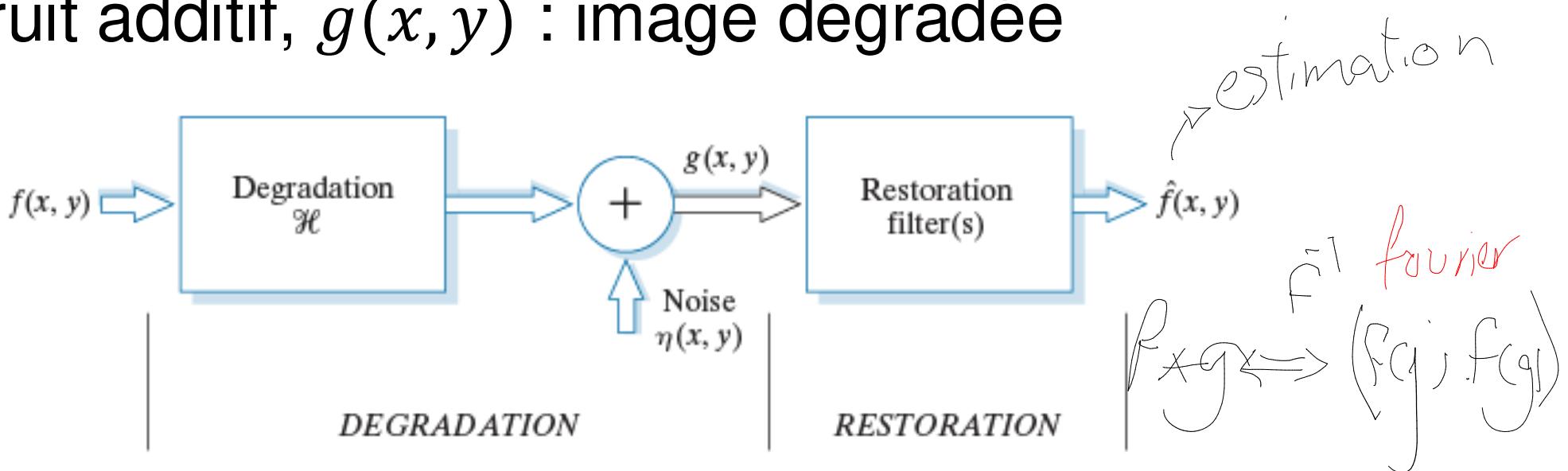


Modèle de dégradation d'images : Domaine spatial

$$g(x, y) = (h * f)(x, y) + \eta(x, y)$$

* : produit de convolution

Où $f(x, y)$: image originale, \mathcal{H} : dégradation linéaire,
 $\eta(x, y)$: bruit additif, $g(x, y)$: image dégradée

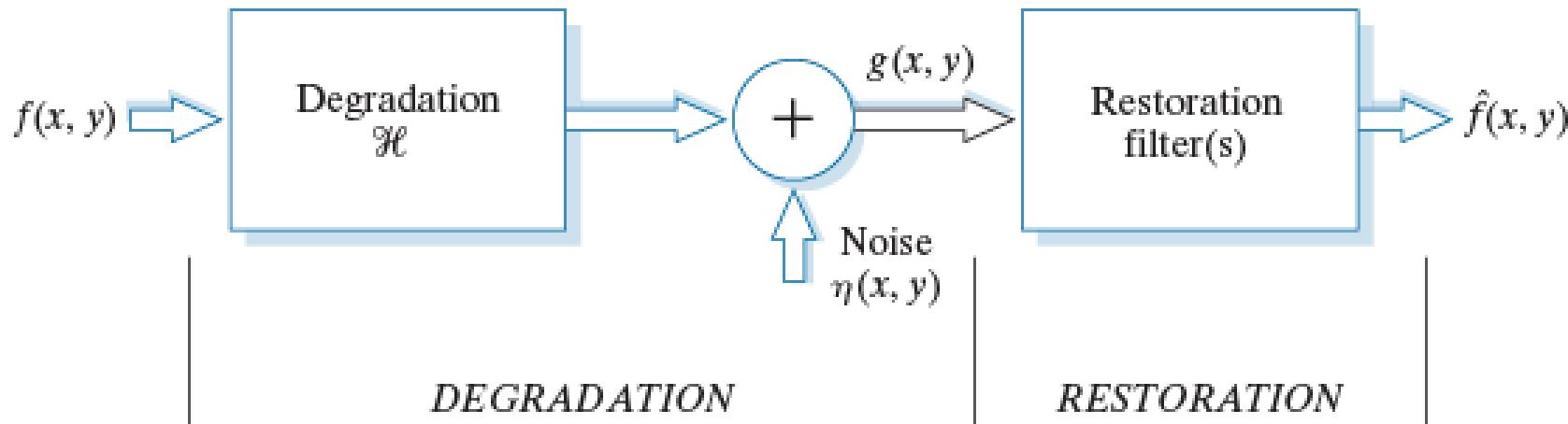


Modèle de dégradation d'images : Domaine fréquentiel

- En utilisant le théorème de convolution

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$$

- Le but de la restauration est **d'approximer** une image $\hat{f}(x, y)$ qui se rapproche de l'image originale non dégradée $f(x, y)$



Modélisation du bruit $\eta(x, y)$

Chapitre 4 : Restauration d'images

Joël Lefebvre (UQÀM)

INF600F – Traitement d'images

Modélisation du bruit $\eta(x, y)$

- Bruit provient de l'acquisition et/ou de la transmission des images
- **Exemple** : Une caméra CCD est affectée par la luminosité et la température ambiante

Foudre percutant la tour Eiffel en 1902

([Source](#))



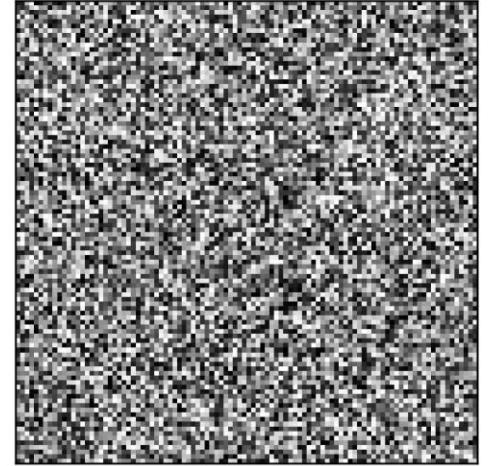
Exemple de bruit de Poisson (*shot noise*) ([Wikimedia](#))



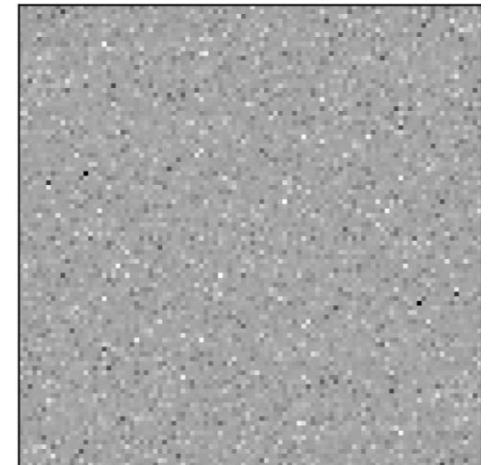
Propriétés spatiales et fréquentielles du bruit $\eta(x, y)$

- **Spectre du bruit $N(u, v)$:** Transformée de Fourier de $\eta(x, y)$
 - **Bruit blanc**: Spectre de Fourier du bruit est uniforme
 - **Bruit rose / brun / gris** selon le contenu fréquentiel
 - [Générateur de bruit blanc audio](#)
- **Bruit indépendant** de la position des pixels dans l'image
- **Bruit non corrélé** : Il n'y a pas de lien entre les valeurs des pixels de l'image $f(x, y)$ et les valeurs de bruit $\eta(x, y)$

Bruit blanc $\eta(x, y)$

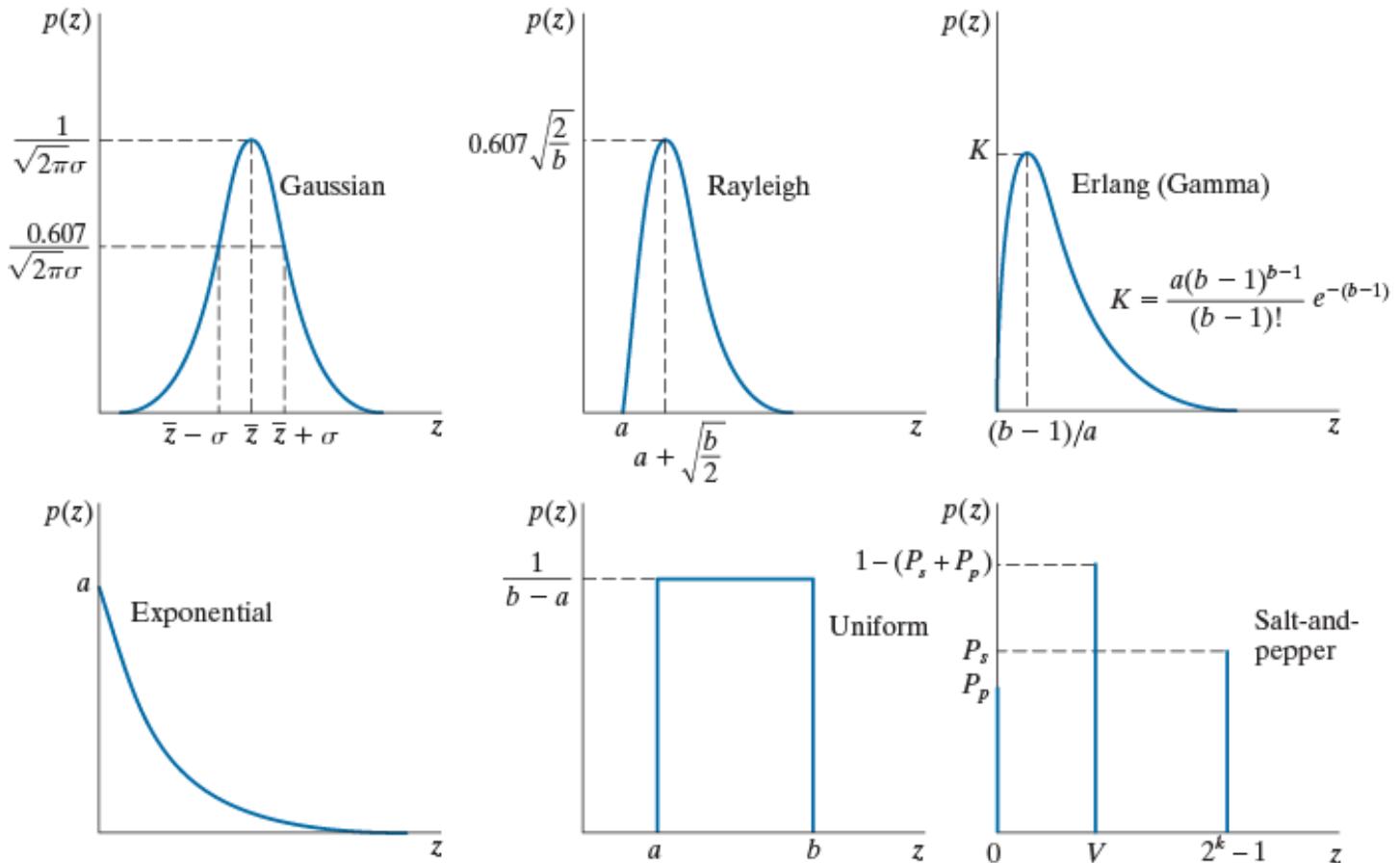


Densité spectrale $|N(u, v)|^2$

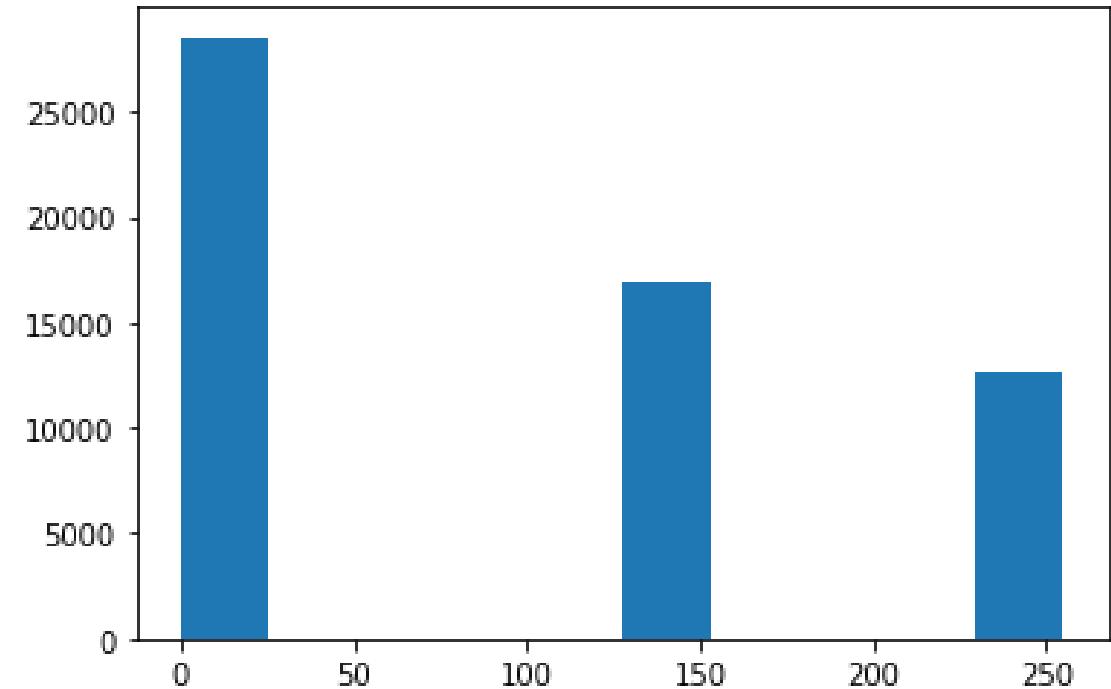


Types de bruits importants

- Définis par la **densité de distribution $p(z)$**
- z est l'intensité, et $p(z)$ indique la probabilité de cette intensité pour une distribution donnée.
- **Exemple** : gaussienne, Rayleigh, Gamma, exponentielle, uniforme, sel et poivre

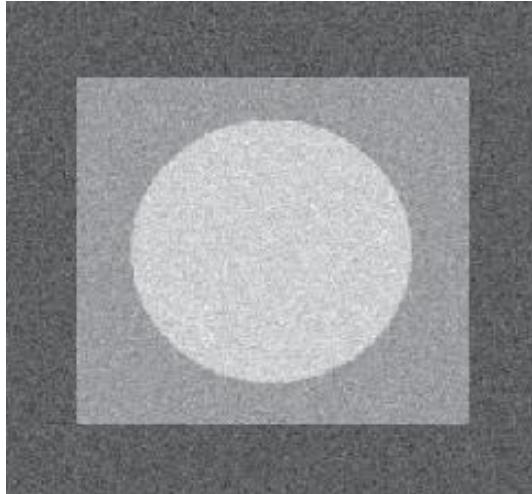


Exemple : Image originale

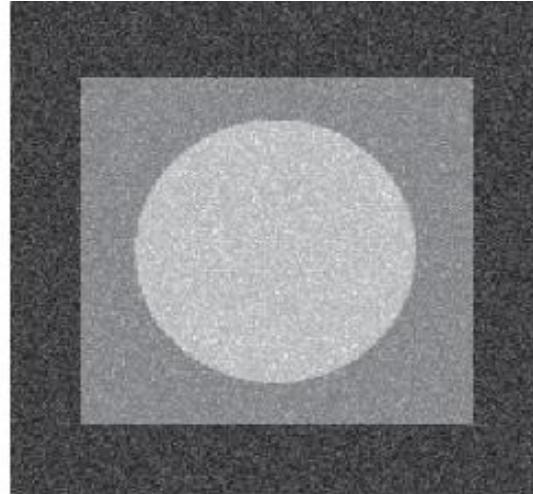


Exemple : Images bruitées (1/2)

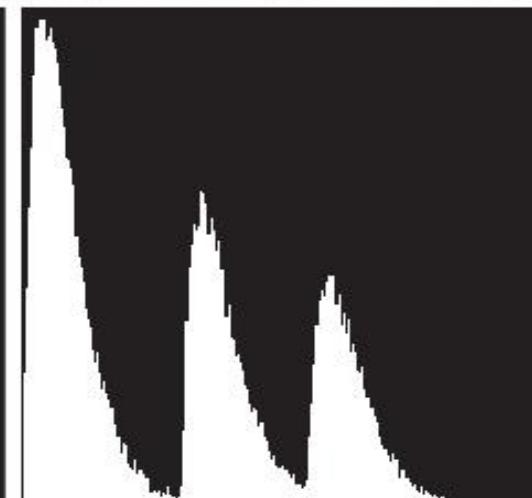
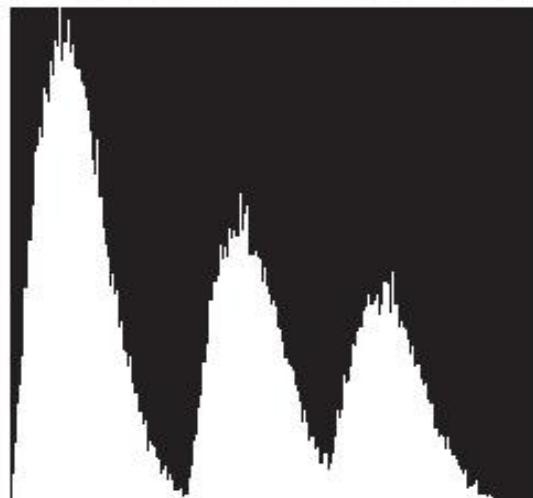
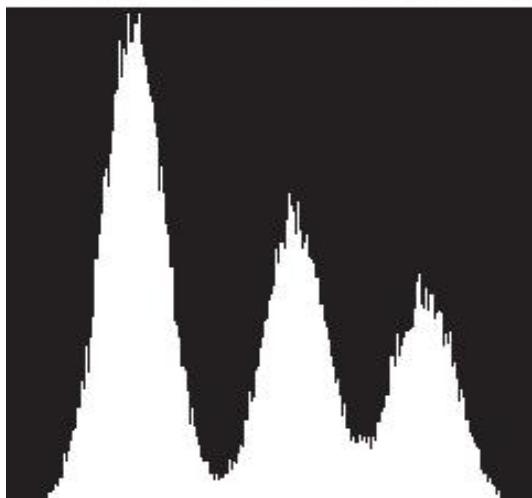
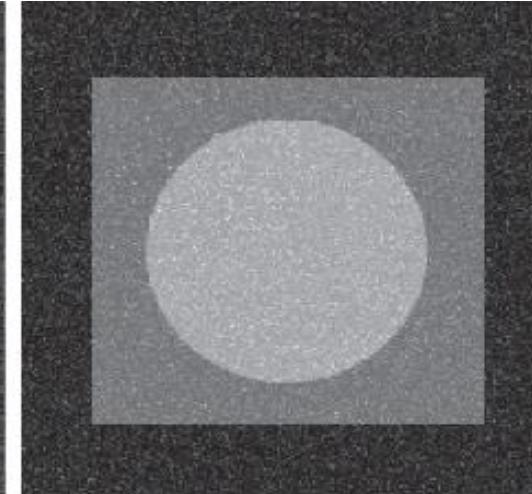
Gaussien



Rayleigh

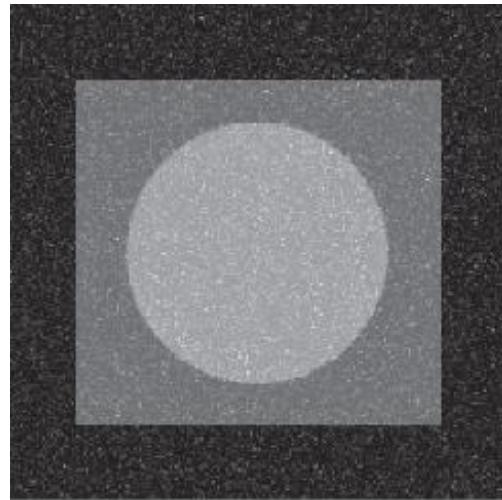


Gamma

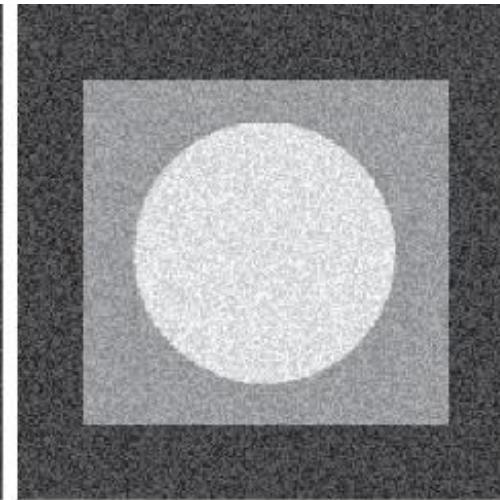


Exemple : Images bruitées (2/2)

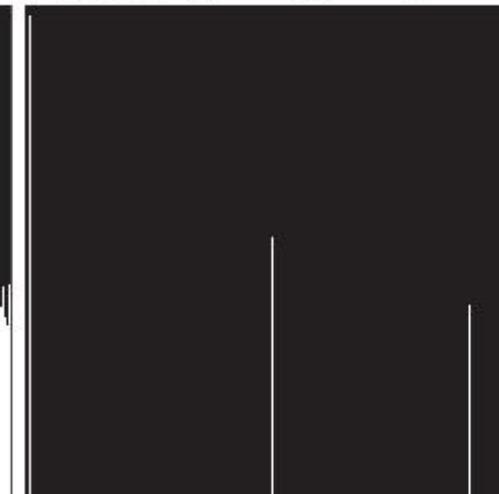
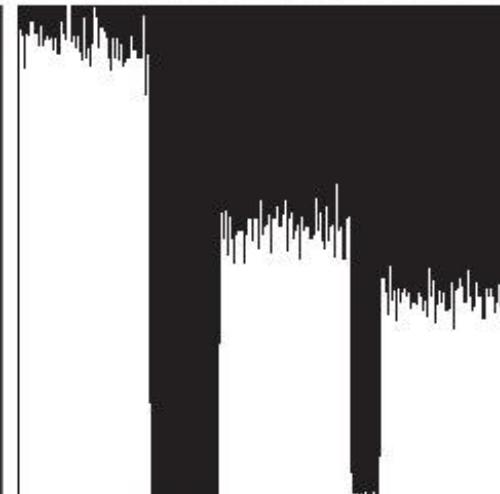
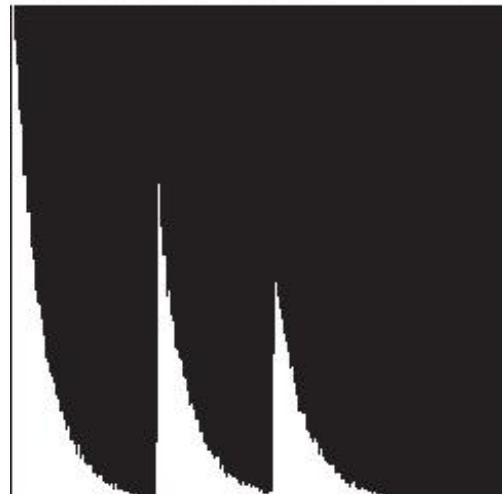
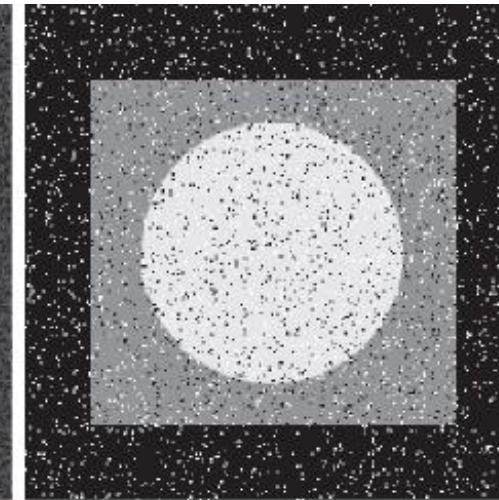
Exponentiel



Uniforme



Poivre et sel



Utilité de ces modèles

- **Gauss** : Bruits électroniques et de détecteurs (faible illumination et/ou haute température)
- **Rayleigh** : Caractérisation du bruit pour l'imagerie des distances (ex. radar, illumination structurée, triangulation 3D, LIDAR, interférométrie)
- **Gamma/Exponentiel** : Imagerie par laser
- **Impulsion** : Commutateurs défectueux, saturation
- **Uniforme** : surtout utilisé pour les générateurs de nombres aléatoires en simulation.

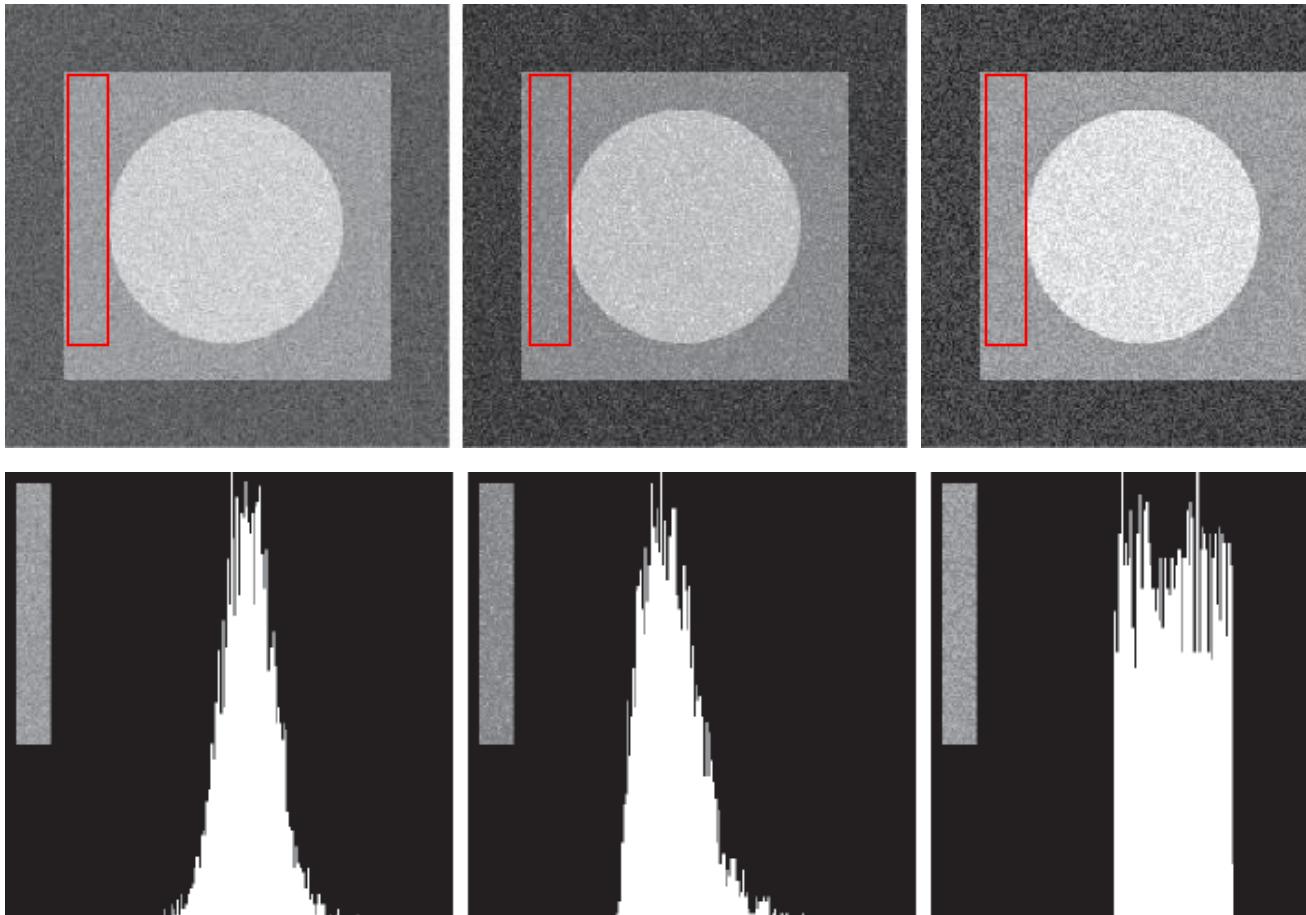
Estimation des paramètres du bruit

- Estimation à partir d'une région uniforme S
- Calcul de l'histogramme normalisé p_S
- Forme de l'histogramme : distribution
- Paramètres de la distribution via la moyenne et la variance

$$\bar{z} = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p_S(z_i)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - \bar{z})^2 p_S(z_i)$$

Exemple : Estimation du bruit



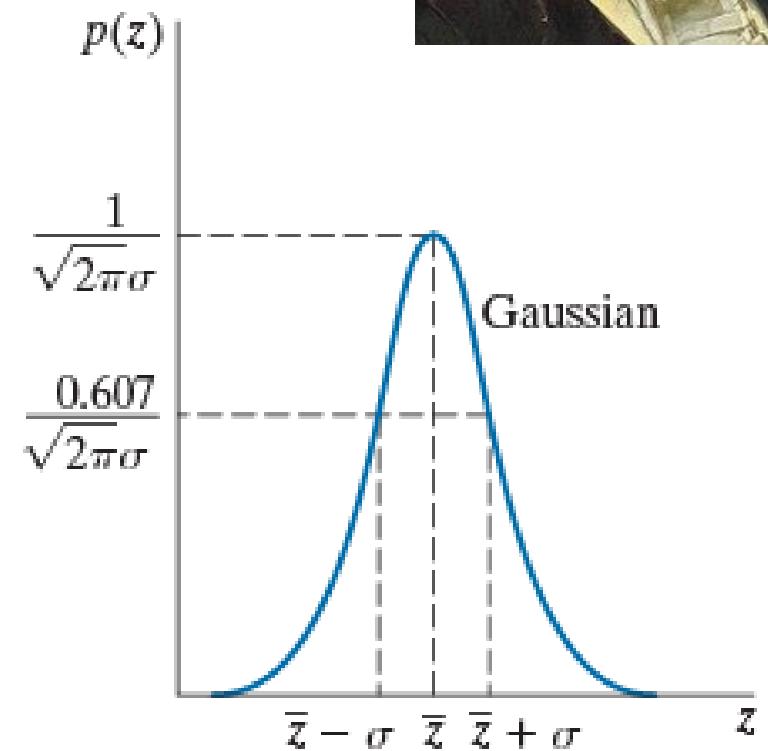


Bruit gaussien

- Distribution la plus utilisée en pratique
- Formes spatiales / fréquentielles explicites
- Loi de probabilité

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-\bar{z})^2}{2\sigma^2}}$$

- $-\infty < z < \infty$
- Moyenne : \bar{z}
- Variance : σ^2



(Source : Gonzalez 4/e)

Bruit de Rayleigh

[Lord Rayleigh](#)
[\(1842-1919\)](#)
[Physicien](#)
[britannique](#)



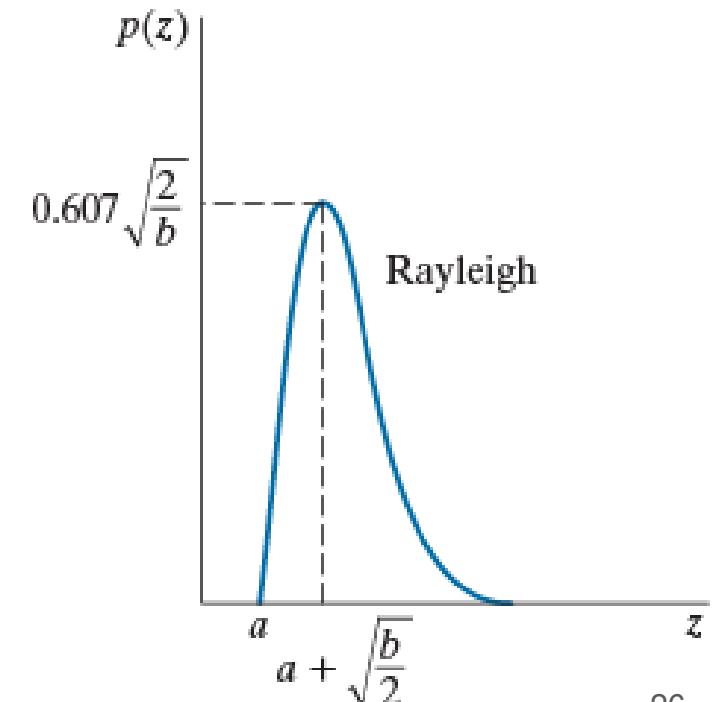
- Distribution asymétrique
- Utile pour représenter les histogrammes biaisés

Loi de probabilité

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z - a)e^{-(z-a)^2/b} & z \geq a \\ 0 & z < a \end{cases}$$

$$\text{Moyenne : } \bar{z} = a + \sqrt{\frac{\pi b}{4}}$$

$$\text{Variance : } \sigma^2 = \frac{b(4-\pi)}{4}$$



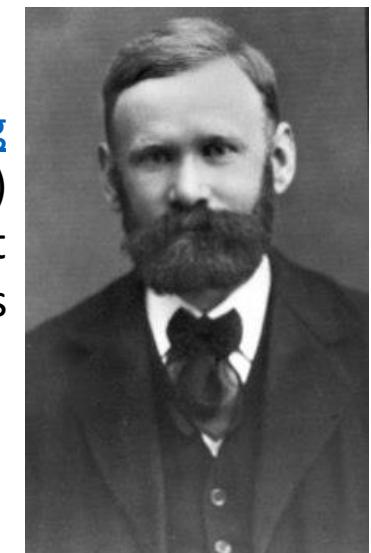
Bruit d'Erlang (Gamma)

[Agner Krarup Erlang](#)

(1878-1929)

Ingénieur et

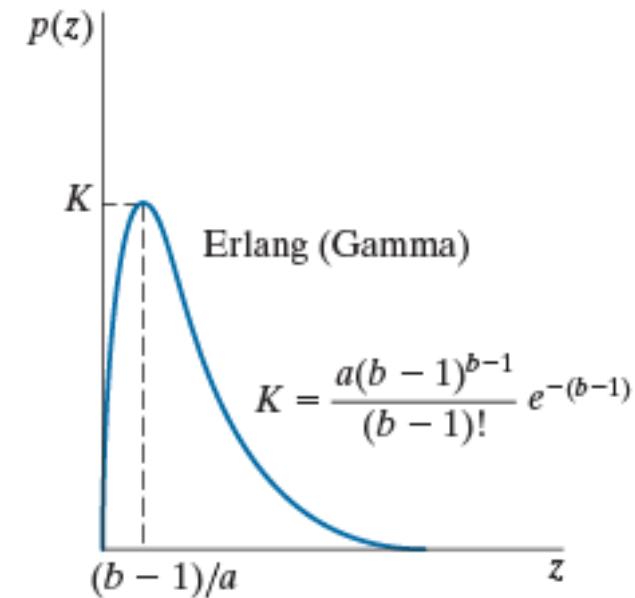
mathématicien danois



- Loi de probabilité

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az} & z \geq 0 \\ 0 & z < 0 \end{cases}$$

- Moyenne : $\bar{z} = \frac{b}{a}$
- Variance : $\sigma^2 = b/a^2$

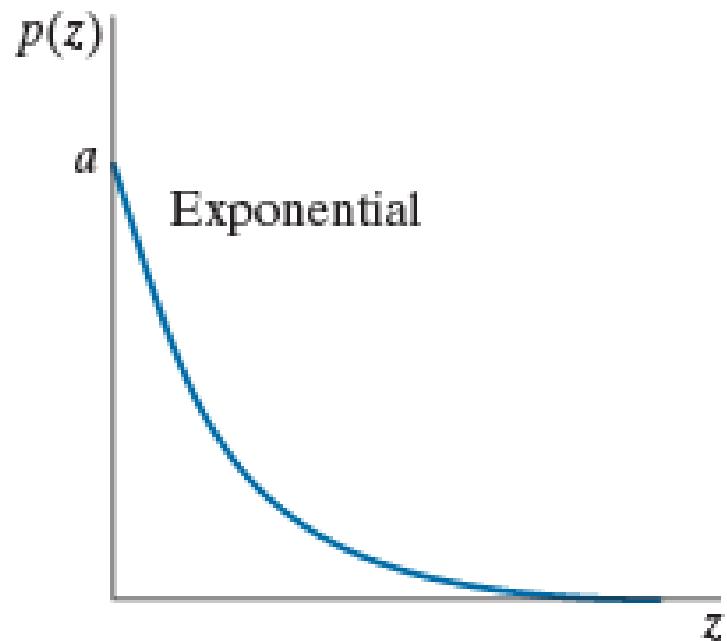


Bruit exponentiel

- Cas spécial de la distribution d'Erlang pour $b = 1$
- Loi de probabilité

$$p(z) = \begin{cases} ae^{-az} & z \geq 0 \\ 0 & z < 0 \end{cases}$$

- Moyenne : $\bar{z} = 1/a$
- Variance : $\sigma^2 = 1/a^2$

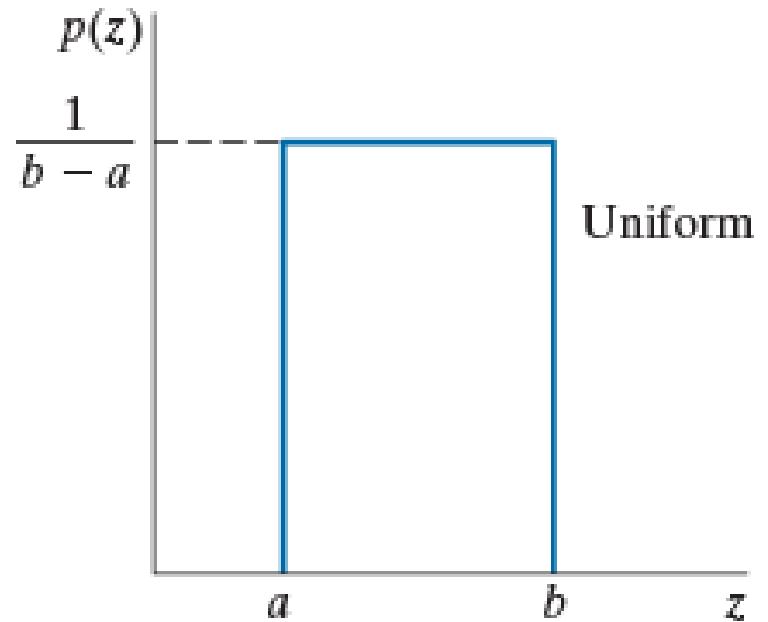


Bruit uniforme

- Loi de probabilité

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq z \leq b \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Moyenne : $\bar{z} = \frac{a+b}{2}$
- Variance : $\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$



Bruit impulsif (Poivre et sel)

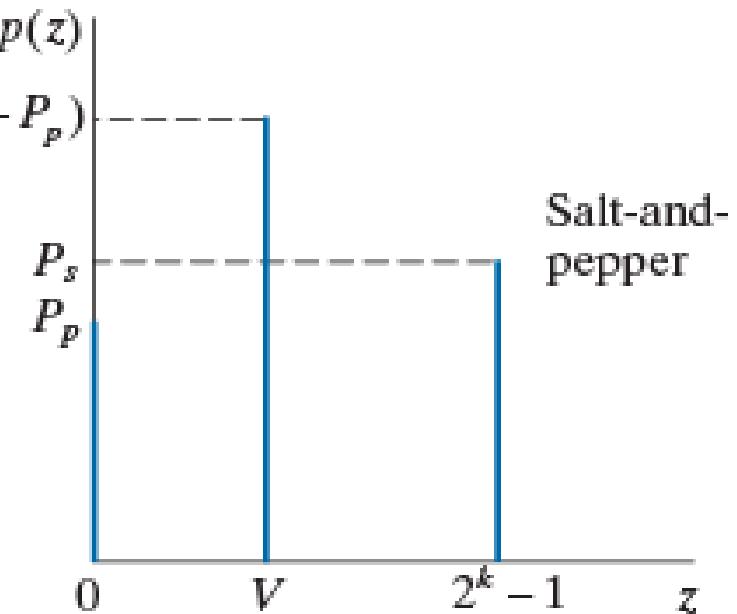
- Soit k le nombre de bits utilisés pour représenter l'intensité
- L'étendue des intensités possibles est $[0, 2^k - 1]$

Loi de probabilité

$$p(z) = \begin{cases} P_s & \text{pour } z = 2^k - 1 \\ P_p & \text{pour } z = 0 \\ 1 - (P_s + P_p) & \text{pour } z = V \end{cases}$$

Où V est un entier entre $0 < V < 2^k - 1$

Densité du bruit : $P = P_s + P_p$



Débruitage

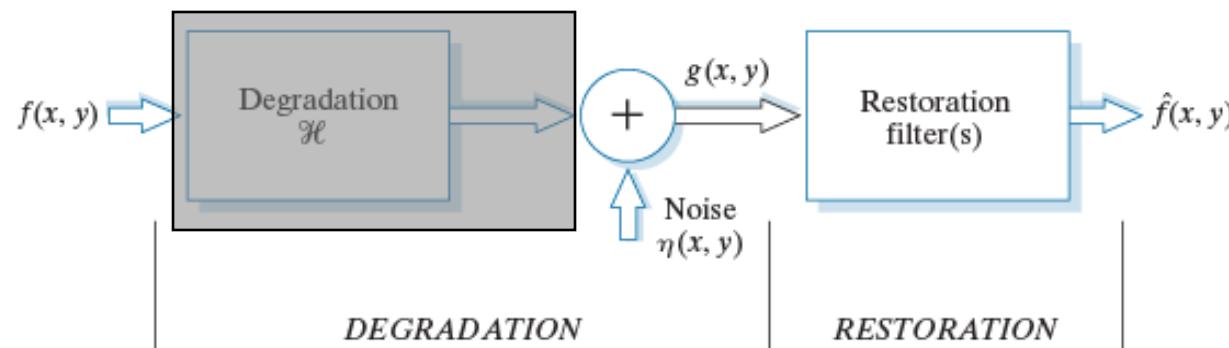
Chapitre 4 : Restauration d'images

Joël Lefebvre (UQÀM)

INF600F – Traitement d'images

Restauration en présence de bruit uniquement

- **Sans dégradation linéaire**, le modèle de formation d'images devient
$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$
- En général, $\eta(x, y)$ est **inconnu**, donc on ne peut pas le soustraire.
- **Méthode privilégiée** : filtrage spatial
- **Débruitage (*denoising*)** : estimation de $f(x, y)$ à partir de $g(x, y)$



Filtres moyenneurs : Moyenne arithmétique

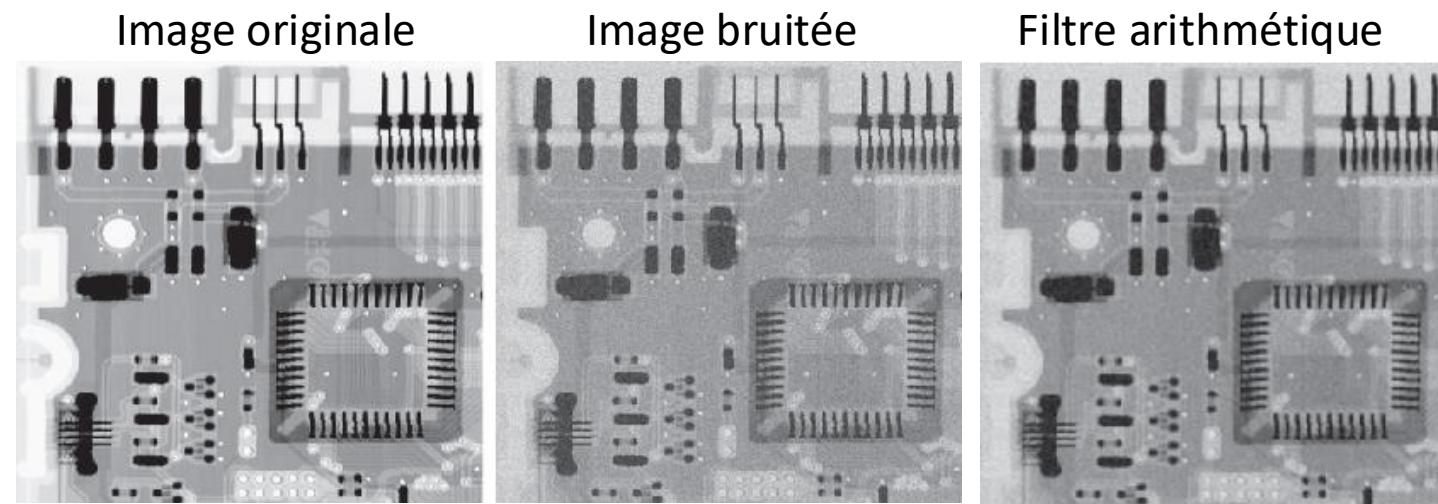
- Le filtre le plus simple, similaire au filtre uniforme

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(r,c) \in S_{xy}} g(r, c)$$

où S_{xy} est le voisinage de taille $m \times n$ du pixel (x, y)

- Le filtre arithmétique **lisse l'image bruitée**, et le bruit est réduit par le lissage.

Image d'un circuit
acquise par rayon X,
dégradée par un
bruit gaussien additif
(Gonzalez 4/e)

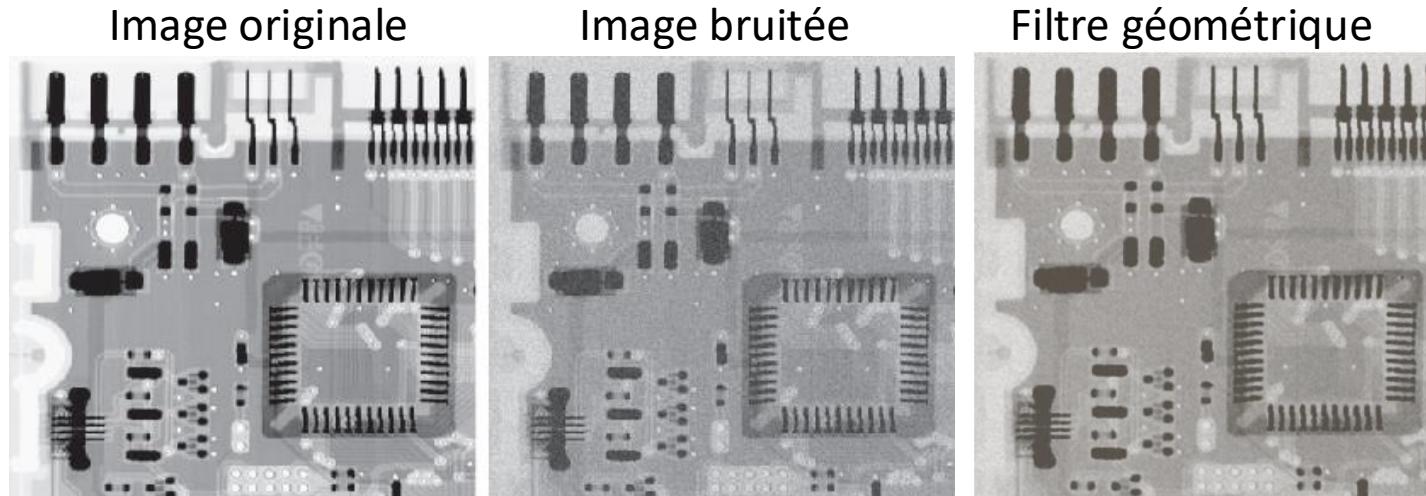


Filtres moyenneurs : Moyenne géométrique

$$\hat{f}(x, y) = \left[\prod_{(r,c) \in S_{xy}} g(r, c) \right]^{\frac{1}{mn}}$$

Où Π désigne la multiplication.

- Les pixels de l'image restaurée sont remplacés par le **produit des intensités de leur voisinage**, élevé à la puissance $1/mn$
- Résultats similaires au filtre arithmétique, mais tend à moins perdre de détails.



Filtres moyenneurs : Moyenne harmonique

$$\hat{f}(x, y) = \frac{mn}{\sum_{(r,c) \in S_{xy}} \frac{1}{g(r, c)}}$$

- Le filtre harmonique fonctionne bien pour le **bruit impulsional de type « sel »**, mais pas pour le bruit de type « poivre »
- Fonctionne bien pour d'autres types de bruits, tel que le bruit gaussien

Filtres moyenneurs : Moyenne contraharmonique

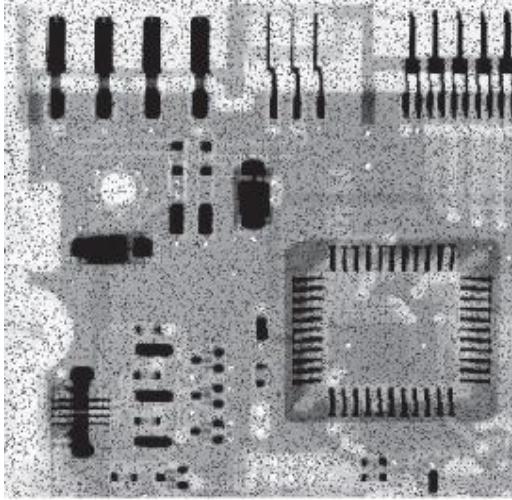
- Expression plus générale

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(r,c) \in S_{xy}} g(r, c)^{Q+1}}{\sum_{(r,c) \in S_{xy}} g(r, c)^Q}$$

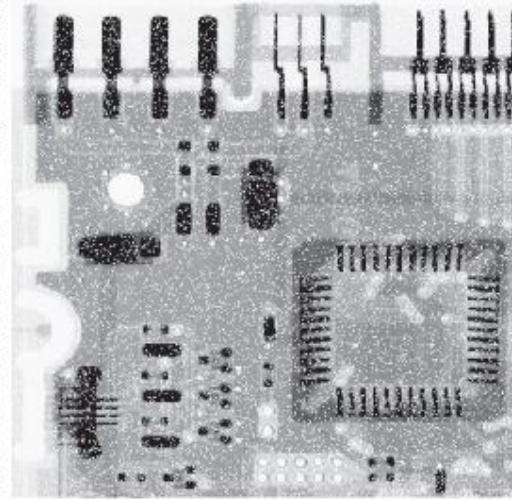
- Q est l'ordre du filtre.
- Pour $Q > 0$: bruit impulsif de type « poivre »
- Pour $Q < 0$: bruit impulsif de type « sel »
- Ne peut pas traiter les 2 types de bruits simultanément

Exemple : Débruitage avec un filtre contraharmonique

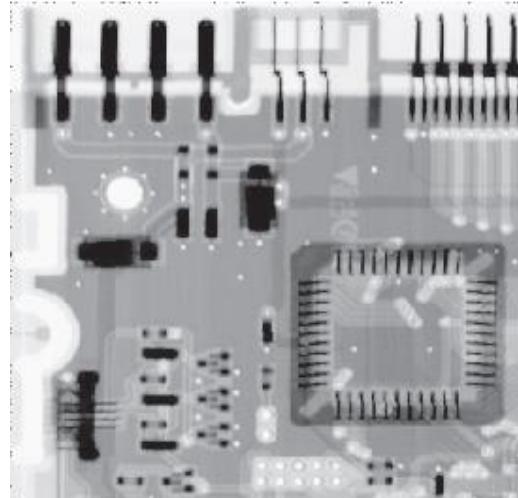
Bruit de type « poivre »



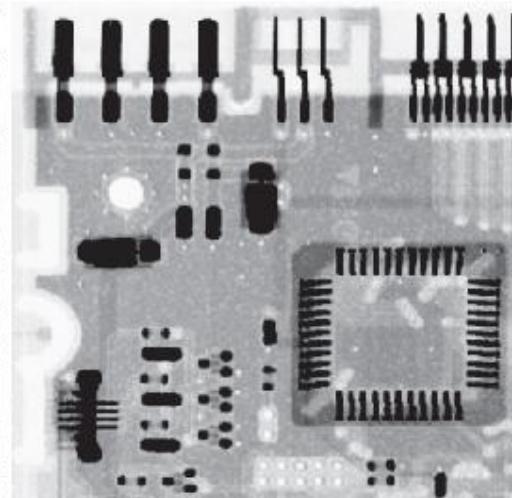
Bruit de type « sel »



Filtre contra-
harmonique de taille
 3×3 avec $Q = +1.5$

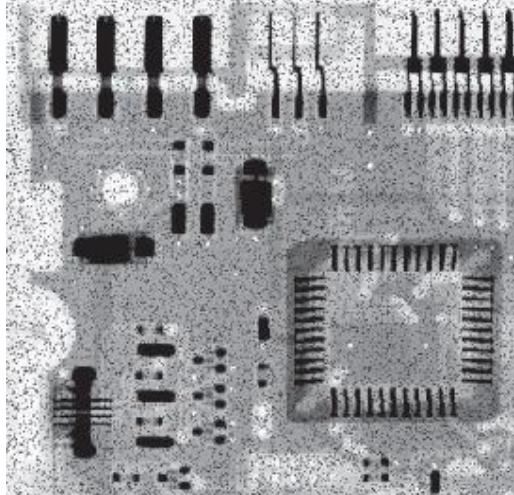


Filtre contra-
harmonique de taille
 3×3 avec $Q = -1.5$

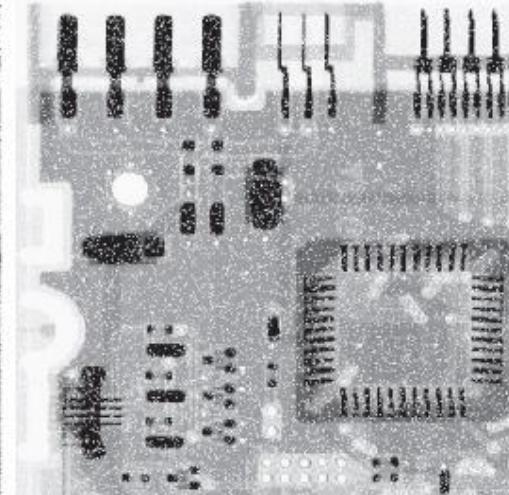


Filtres contraharmoniques : Importance de l'ordre Q

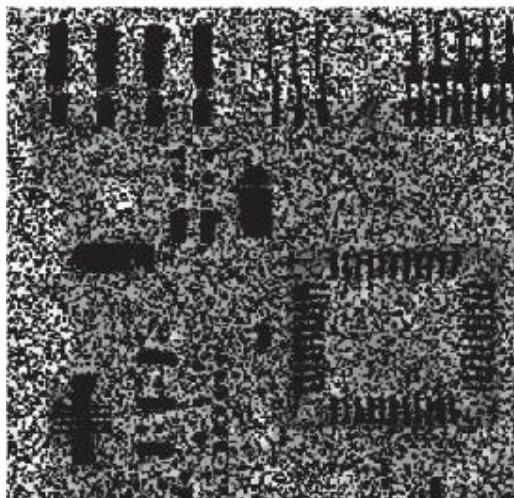
Bruit de type « poivre »



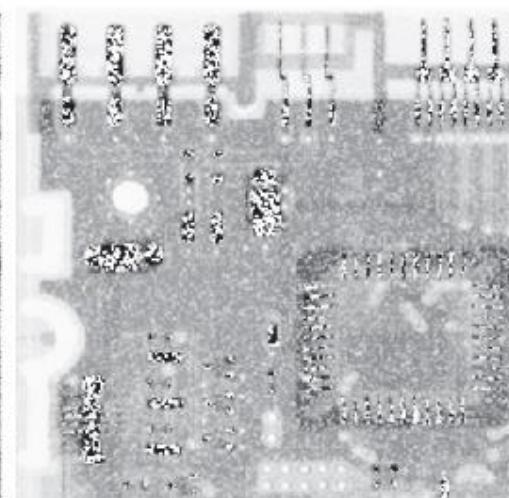
Bruit de type « sel »



Filtre contra-harmonique de taille 3X3 avec
 $Q = -1.5$



Filtre contra-harmonique de taille 3X3 avec
 $Q = +1.5$



Filtres basés sur les statistiques d'ordre

- Les pixels du voisinage S_{xy} de (x, y) sont ordonnés en ordre croissant d'intensité
- L'intensité des pixels est remplacée par : médiane, max, min ...
- Bonne performance pour le bruit impulsif

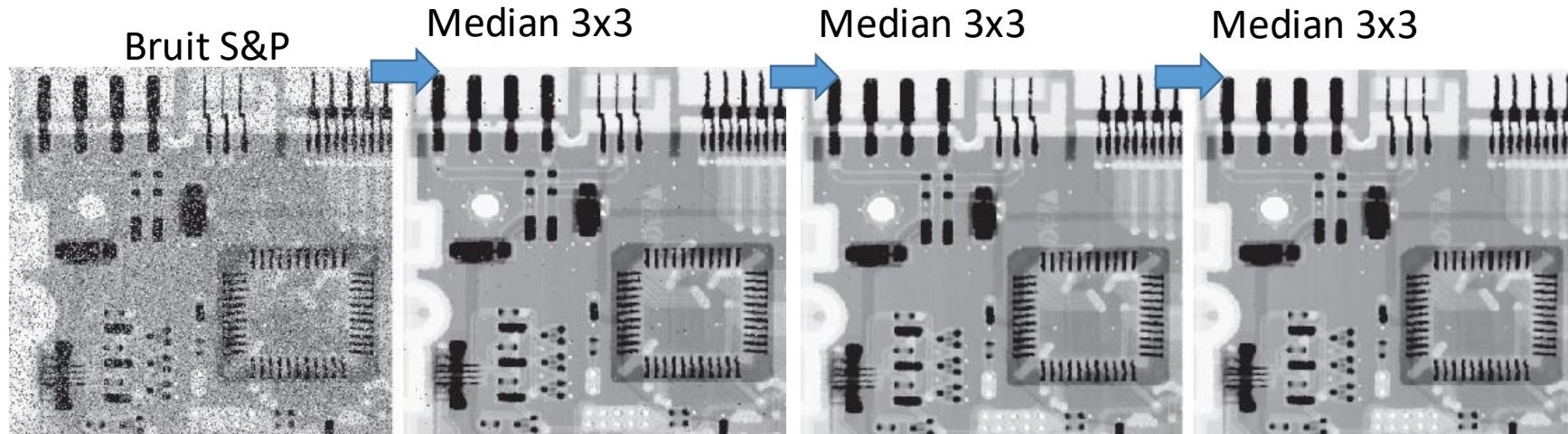
1	2	0	0	0
1	3	1	0	1
0	1	2	3	2
0	1	0	2	3
1	1	1	2	3



- Classement des intensités du voisinage 5x5
[0,0,0,0,0,1,1,1,1,1,1,1,2,2,2,2,3,3,3]
- Sélection d'une valeur basée sur le rang dans ce classement
- Exemples : **min = 0**, **max=3**, **médiane = 1**, ...

Filtre médian

- Le filtre de type « statistique d'ordre » le plus connu
$$\hat{f}(x, y) = \text{median}_{(r,c) \in S_{xy}} \{g(r, c)\}$$
- Excellente performance pour plusieurs types de bruits
- Diminue la quantité de lissage
- Surtout utilisé pour le bruit impulsif (sel, poivre, P&S)



Filtres Min/Max

- **Médiane** : 50^e percentile
- **Max** : 100^e percentile

$$\hat{f}(x, y) = \max_{(r,c) \in S_{xy}} \{g(r, c)\}$$

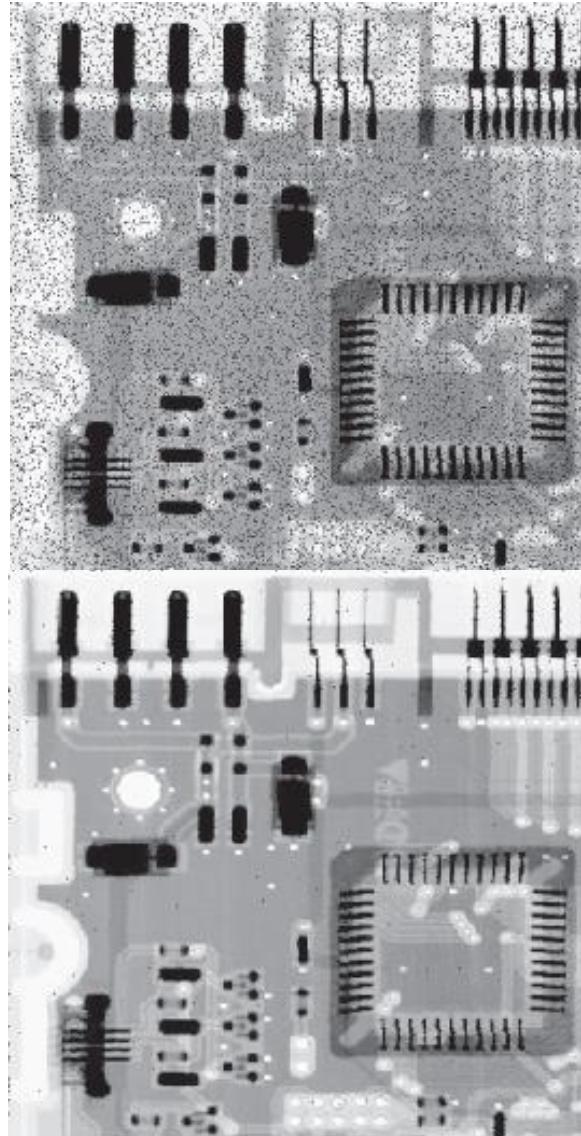
- **Min** : 0^e percentile

$$\hat{f}(x, y) = \min_{(r,c) \in S_{xy}} \{g(r, c)\}$$

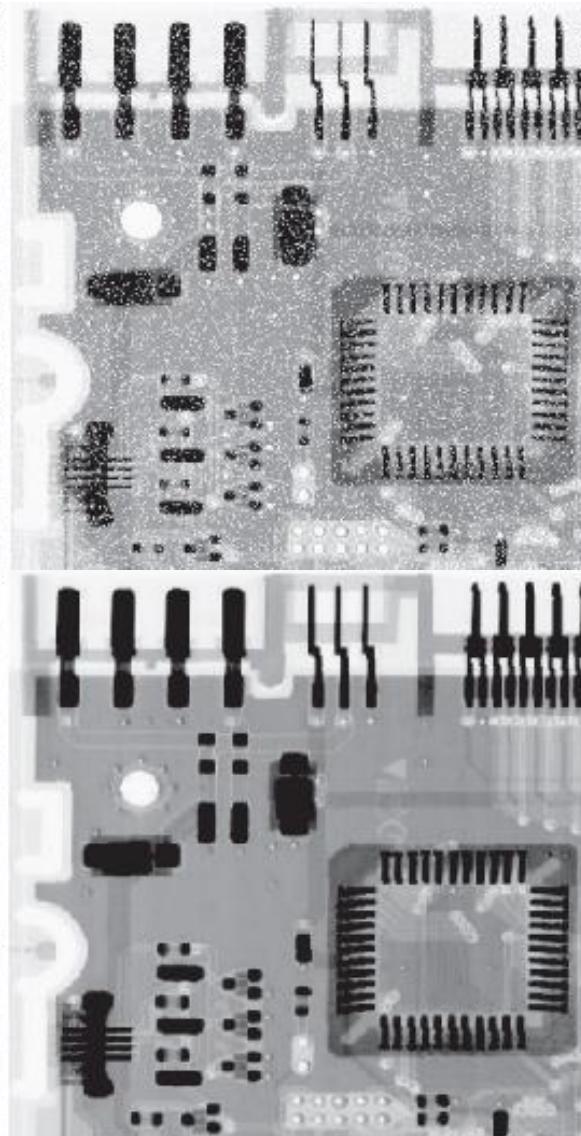
- **Max pour le bruit « poivre »**, trouver les points brillants et éroder les régions sombres près des régions claires
- **Min pour réduire le bruit « sel »**, trouver les points sombres, et éroder les régions claires près des régions sombres

Exemple de filtres min et max

Bruit de type
« poivre »



Filtre Max



Bruit de type
« sel »

Filtre Min

Filtres adaptatifs

- Le résultat du filtrage dépend de la **statistique locale** du bruit dans le voisinage rectangulaire S_{xy} de taille $m \times n$
- Performance de débruitage supérieure aux filtres fixes
- Filtres plus complexes à implémenter
- **Hypothèse** : Aucune dégradation n'est présente

Filtre adaptatif : Filtre de réduction adaptative du bruit local

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$

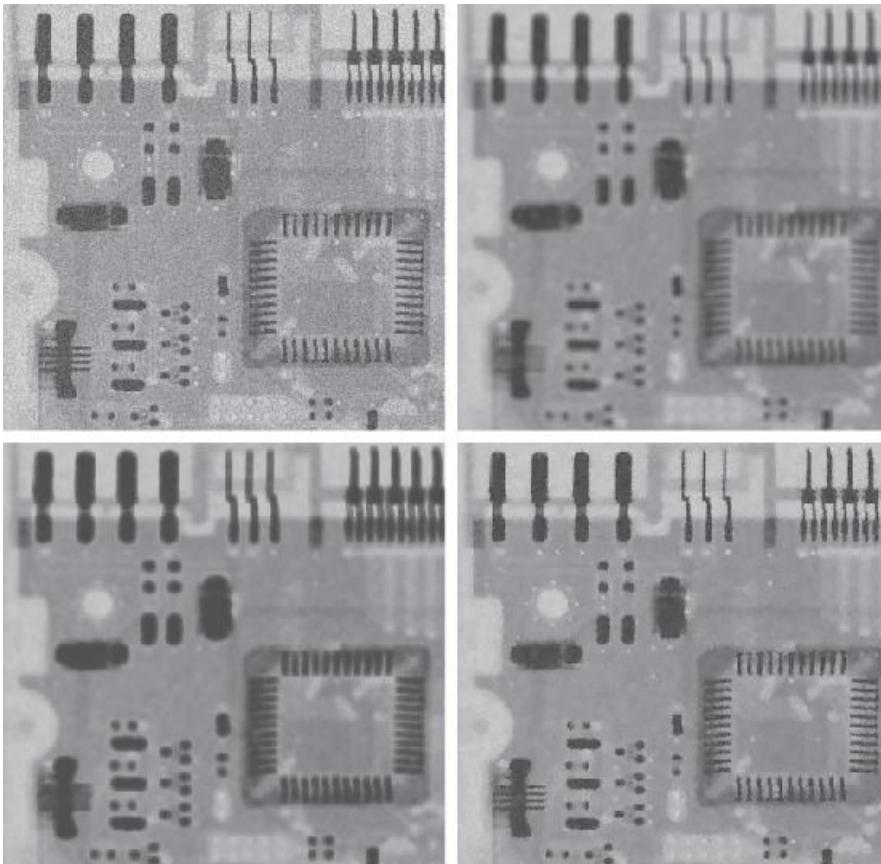
Où \bar{z} est la moyenne du bruit, σ_η^2 est sa variance, \bar{z}_{xy} est la moyenne arithmétique des intensités sur un voisinage S_{xy} et σ_{xy}^2 est la variance des intensités de S_{xy}

- Supposons que l'on connaisse la variance du bruit σ_η^2

$$\hat{f}(x, y) = g(x, y) - \frac{\sigma_\eta^2}{\sigma_{xy}^2} [g(x, y) - \bar{z}_{xy}]$$

Filtre adaptatif : Filtre de réduction adaptative du bruit local (Exemple)

Image dégradée avec du bruit gaussien additif de moyenne $\bar{z} = 0$ et de variance $\sigma_\eta^2 = 1000$



Débruitage avec un filtre arithmétique

Débruitage avec un filtre géométrique

Débruitage avec un filtre de réduction adaptative du bruit local

Filtre adaptatif : Filtre médian adaptatif

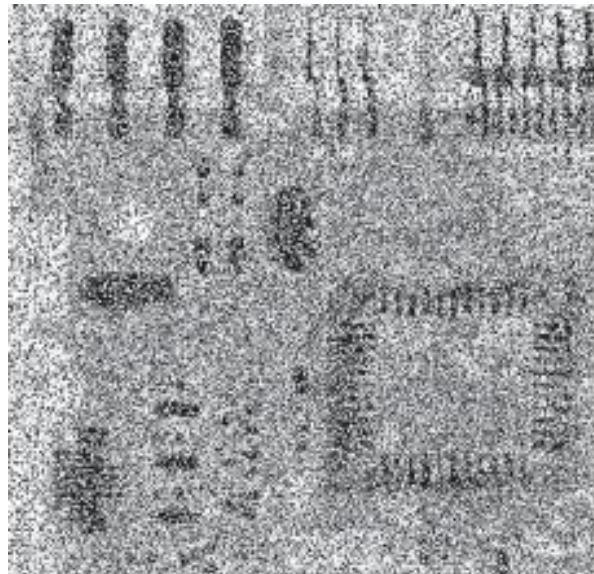
- Performe mieux que le filtre médian si la **densité** du bruit impulsionnel est **élevée**
- Préserve les détails et lisse le bruit non impulsionnel
- Le filtre ajuste la taille du voisinage S_{xy} selon certains critères.

Variables	Algorithme
S_{xy} : Voisinage de taille $k \times k$, $k > 1$ z_{\min} : Intensité minimale sur S_{xy} z_{\max} : Intensité maximale sur S_{xy} z_{med} : Intensité médiane dans S_{xy} z_{xy} : Intensité du pixel (x, y) S_{\max} : Taille maximale du voisinage S_{xy}	<u>Niveau A</u> <ul style="list-style-type: none">• Si $z_{\min} < z_{\text{med}} < z_{\max}$: aller au niveau B• Sinon : augmenter la taille de S_{xy}• Si $S_{xy} \leq S_{\max}$: répéter le niveau A• Sinon : retourner z_{med} <u>Niveau B</u> <ul style="list-style-type: none">• Si $z_{\min} < z_{xy} < z_{\max}$: Retourner z_{xy}• Sinon : retourner z_{med}

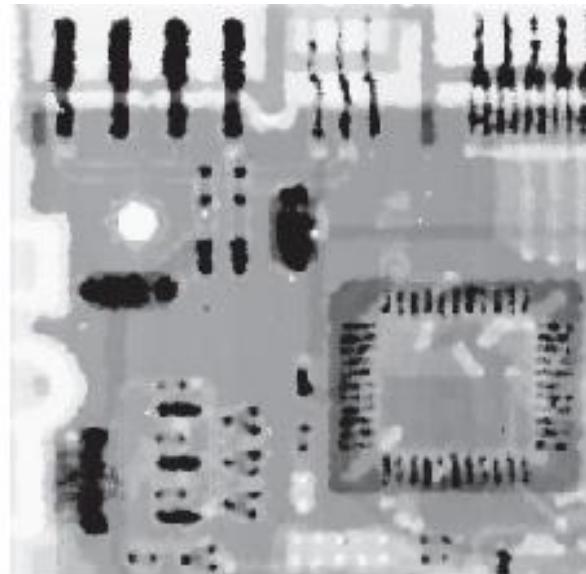
Exemple : Filtre médian adaptatif

- Image corrompue avec du bruit Poivre & Sel ($P_s = P_p = 0.25$)
- Densité du bruit = 50%

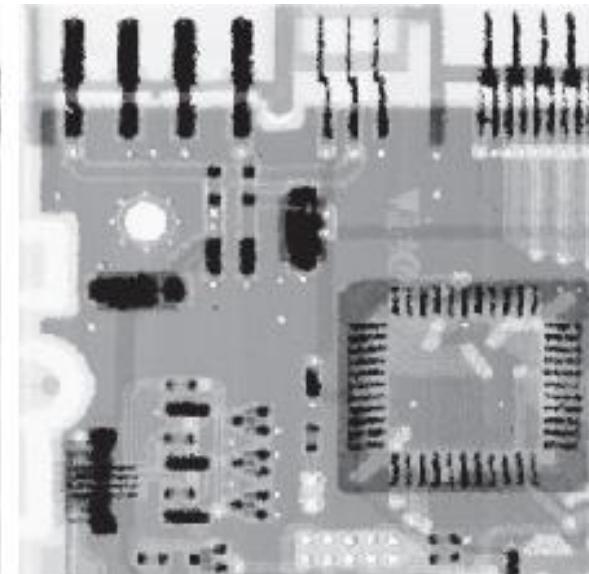
Image dégradée



Filtre médian 7x7



Filtre médian adaptatif
avec $S_{\max} = 7 \times 7$



Réduction du bruit périodique

- Le bruit périodique apparaît comme des **pics concentrés** dans la **représentation fréquentielle** de l'image
- Les filtres coupe-bande, passe-bande et *notch*
- Les filtres ***notch*** sont les plus utilisés



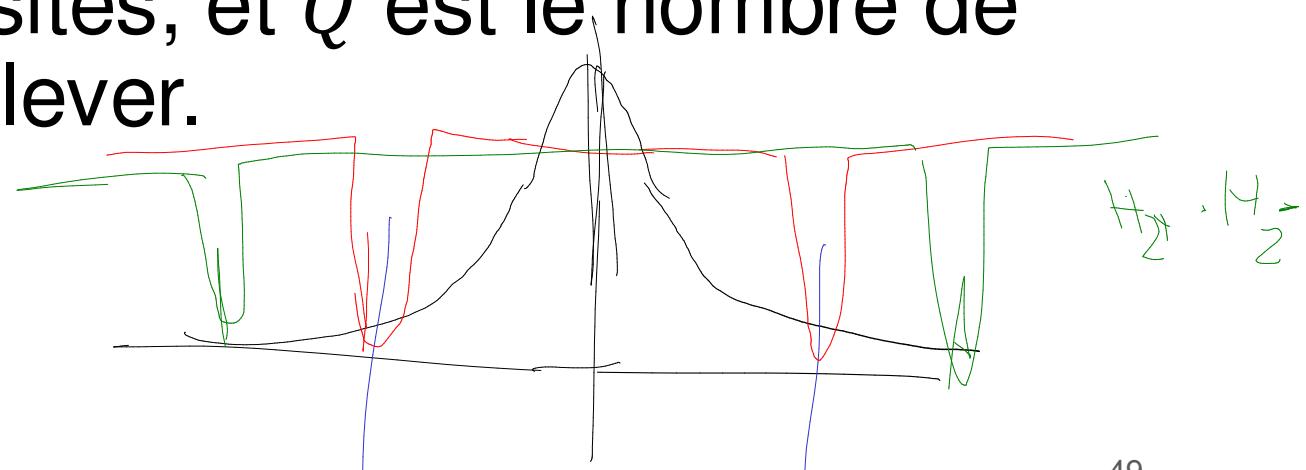
Filtre *Notch* (< à encoche >) - I

- Filtres passe-haut centrés sur les fréquences parasites

$$H_{NR}(u, v) = \prod_{k=1}^Q H_{+k}(u, v) H_{-k}(u, v)$$

- où (u_k, v_k) et $(-u_k, -v_k)$ représentent la position d'une **paire** de fréquences parasites, et Q est le nombre de fréquences parasites à enlever.

Note: Π désigne un produit

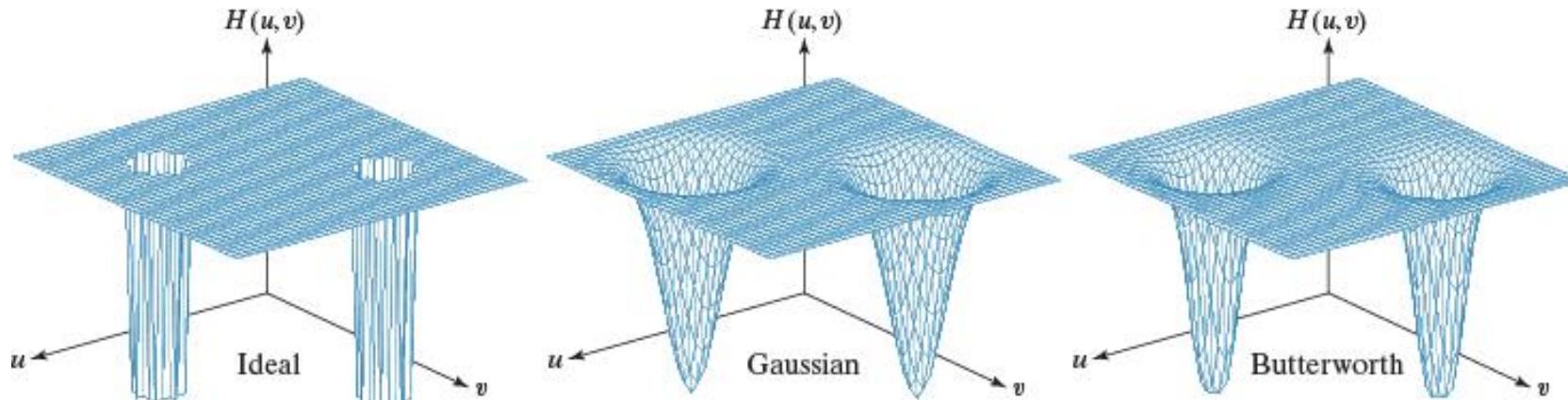


Filtre Notch (< à encoche >) - II

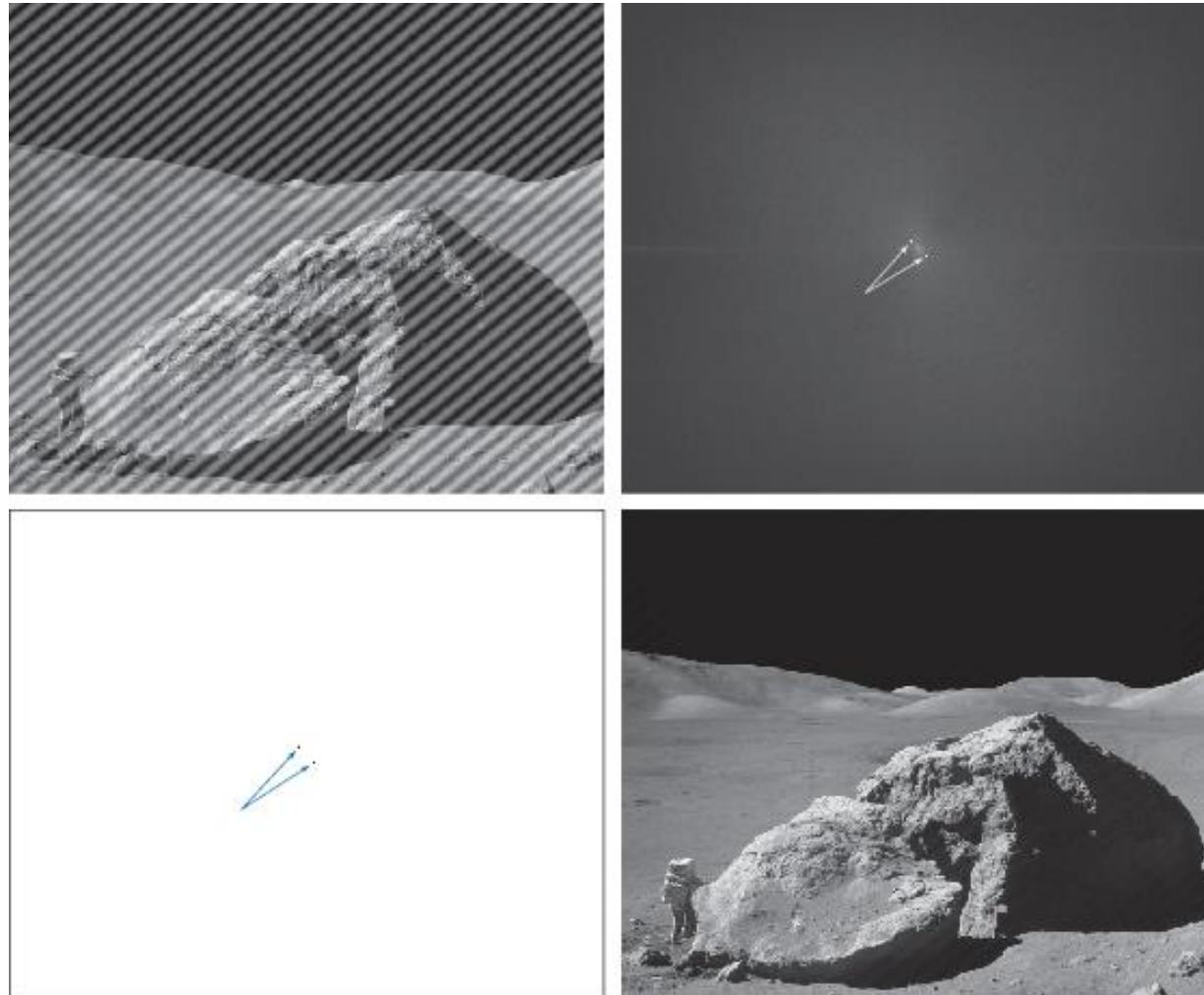
- Le centre de $F(u, v)$ est $[\text{floor}(M/2), \text{floor}(N/2)]$.
- La distance entre chaque pixel de $F(u, v)$ et les fréquences $\pm k$ est :

$$D_{\pm k}(u, v) = \left[\left(u - \frac{M}{2} \mp u_k \right)^2 + \left(v - \frac{N}{2} \mp v_k \right)^2 \right]$$

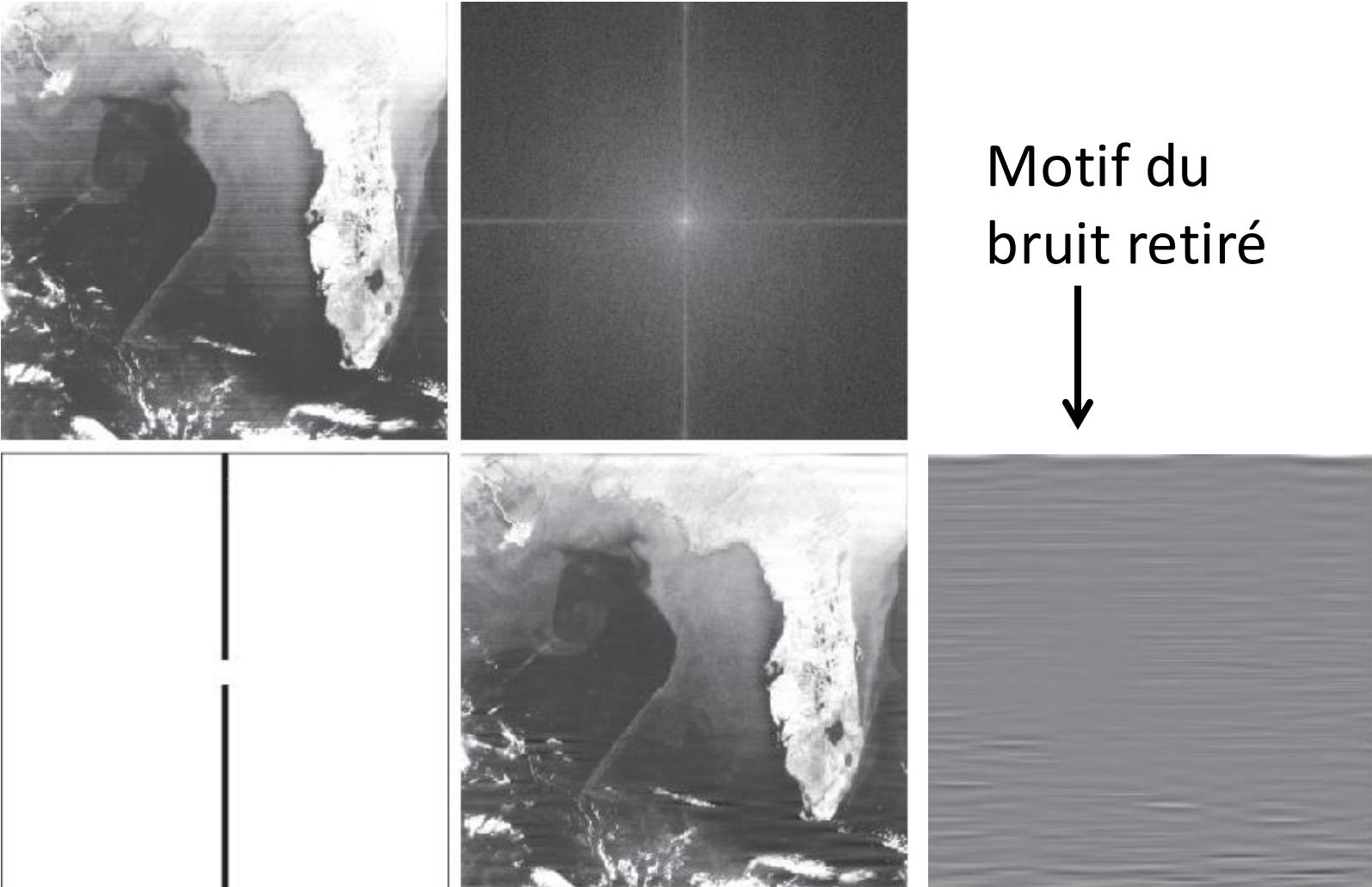
- Ces distances remplacent $D(u, v)$



Exemple : Débruitage d'une fréquence parasite à l'aide d'un filtre *Notch*

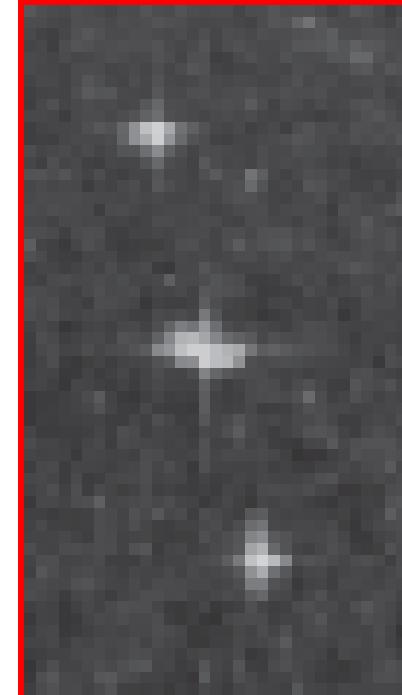
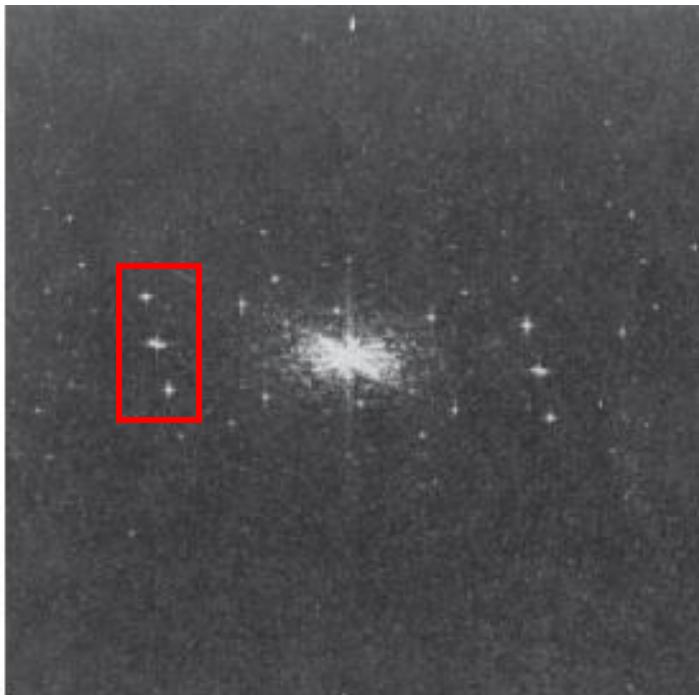


Exemple : Filtre *Notch* pour une dégradation périodique en imagerie satellite



Filtre *Notch* optimal

- Utile si le patron d'interférences est **complexe**
- Les filtres *Notch* classiques retirent parfois trop d'information.
- Les pics d'interférence sont en fait étendus.



Création d'un filtre *Notch* optimal - I

1. **Extraction** des composantes fréquentielles principales de l'interférence avec un *filtre Notch* passe-bas(H_{NP})

$$N(u, v) = H_{NP}(u, v)G(u, v)$$

2. **Patron d'intensité spatial** de l'interférence est calculé

$$\eta(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{N(u, v)\}$$

3. **Soustraction pondérée** du patron d'interférence

$$\hat{f}(x, y) = g(x, y) - w(x, y) \cdot \eta(x, y)$$

$w(x, y)$ est une **fonction de modulation** qui doit être **optimisée**.

Création d'un filtre *Notch* optimal - II

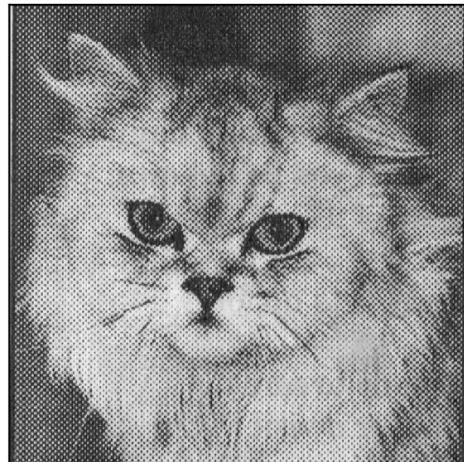
- On peut optimiser la fonction de modulation pour qu'elle **minimise l'écart-type local** dans un voisinage.
- On obtient

$$w(x, y) = \frac{\overline{g \cdot \eta} - \bar{g} \cdot \bar{\eta}}{\eta^2 - \bar{\eta}^2}$$

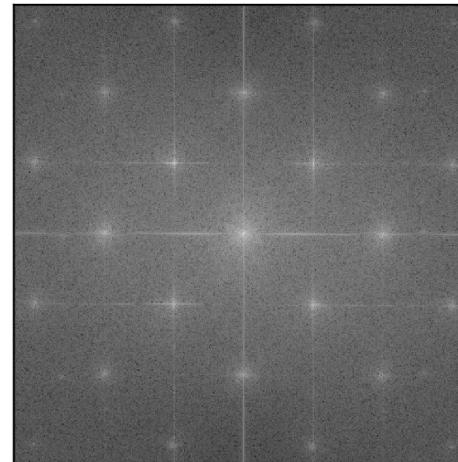
Où \bar{g} et $\bar{\eta}$ sont la moyenne des intensités autour d'un voisinage S_{xy} pour l'image originale et le patron d'interférence, respectivement

Exemple d'application d'un filtre *Notch* optimal : Média imprimé I

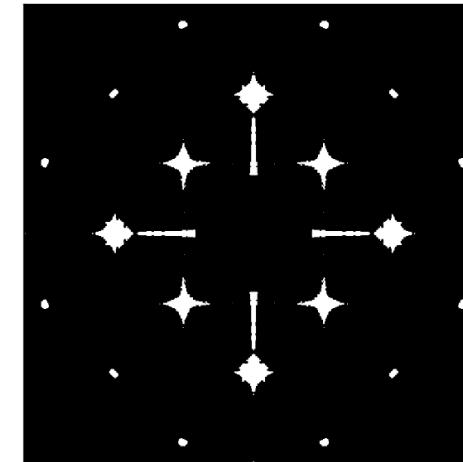
Image dégradée



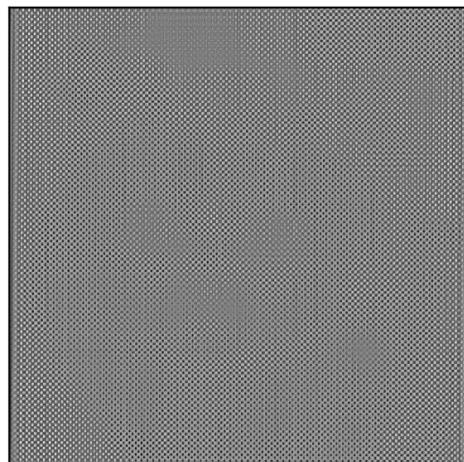
Densité spectrale



Filtre Notch



Patron d'interférence



Fonction de modulation

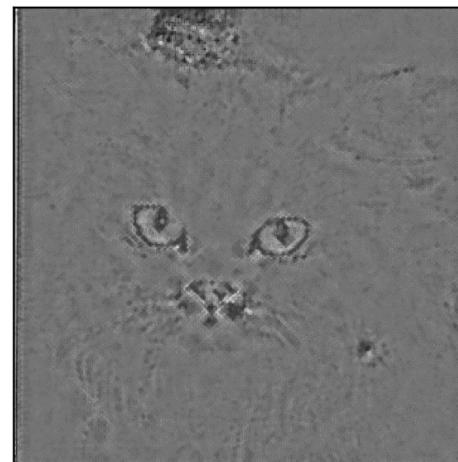
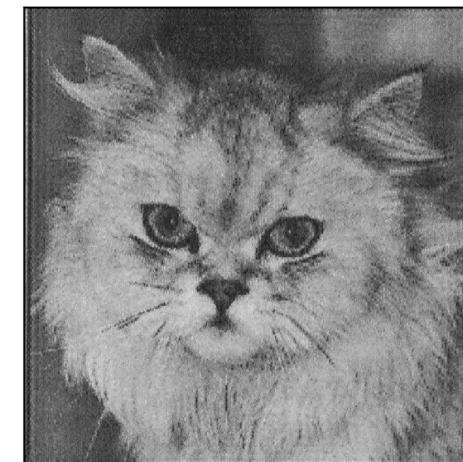


Image restaurée



Exemple d'application d'un filtre *Notch* optimal : Média imprimé II

Image dégradée

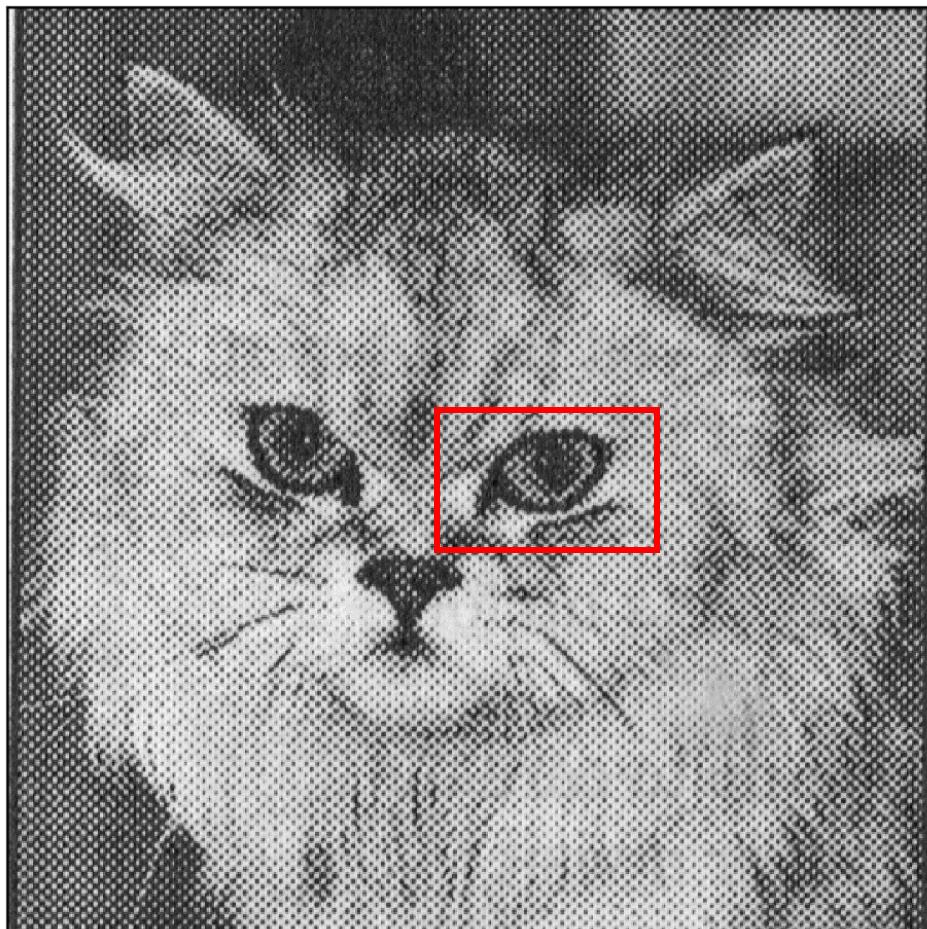
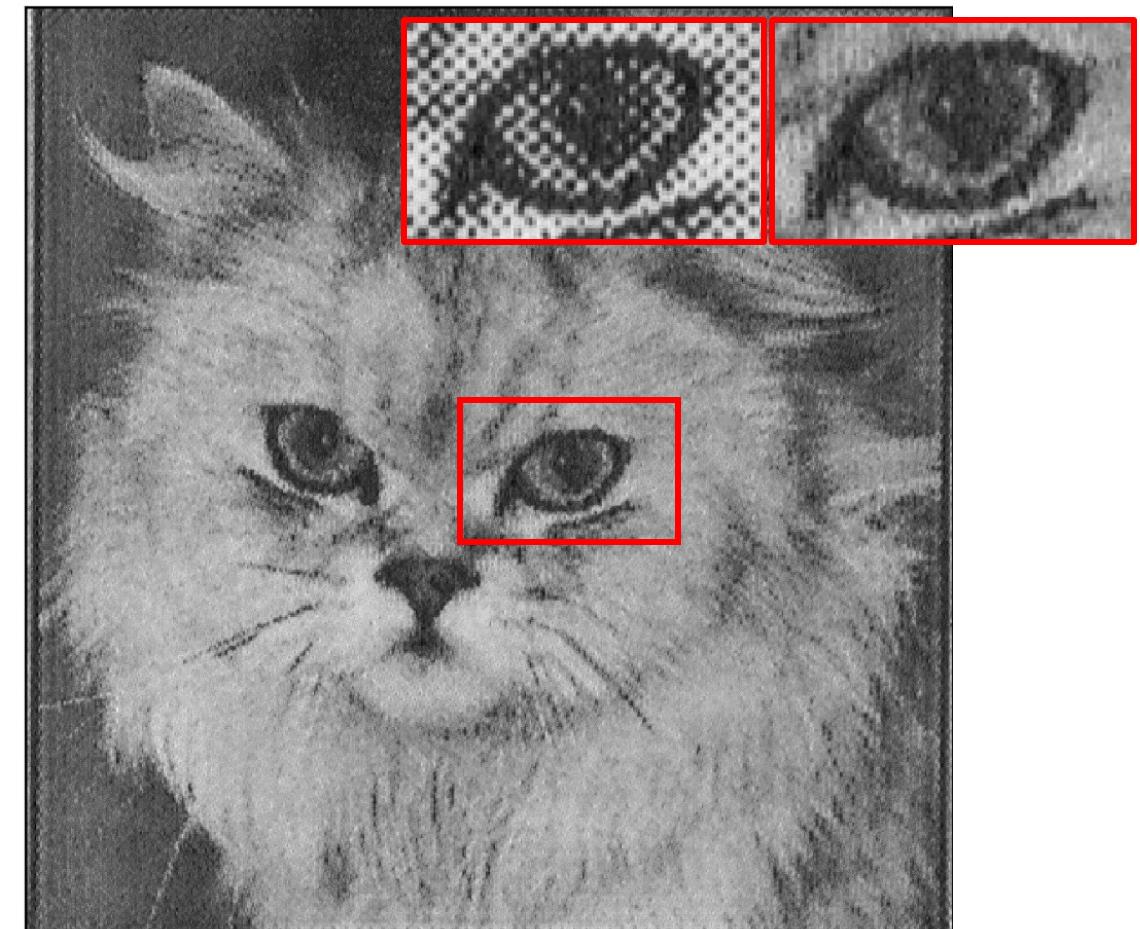


Image restaurée

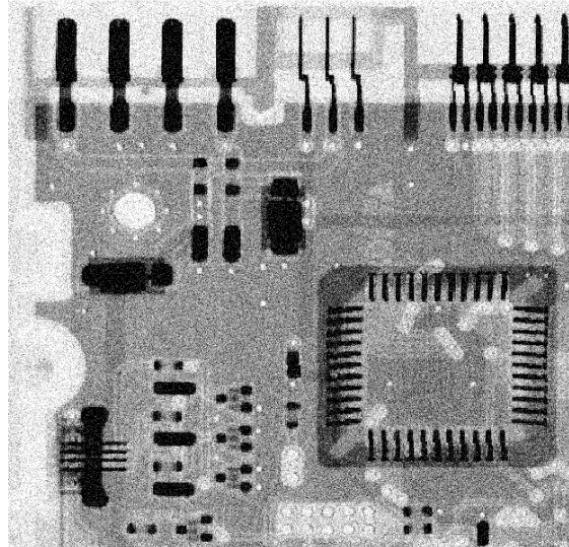


Méthodes avancées

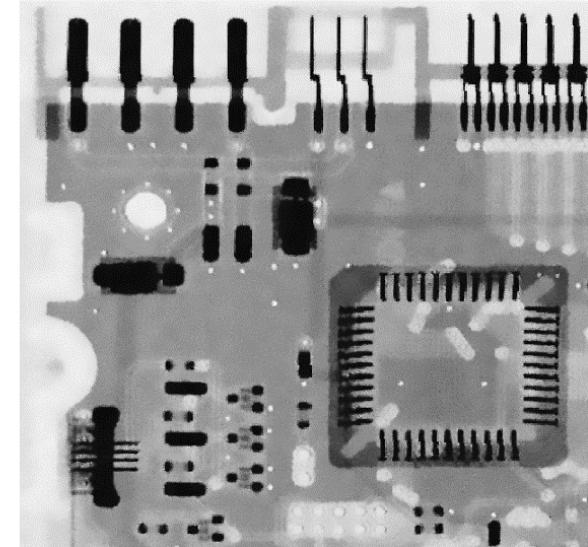
- **skimage.restoration**

- Filtre bilatéral
- Diffusion anisotropique
- Variations totales
- Moyenne non locale

Bruit gaussien ($\sigma^2 = 0.02$)



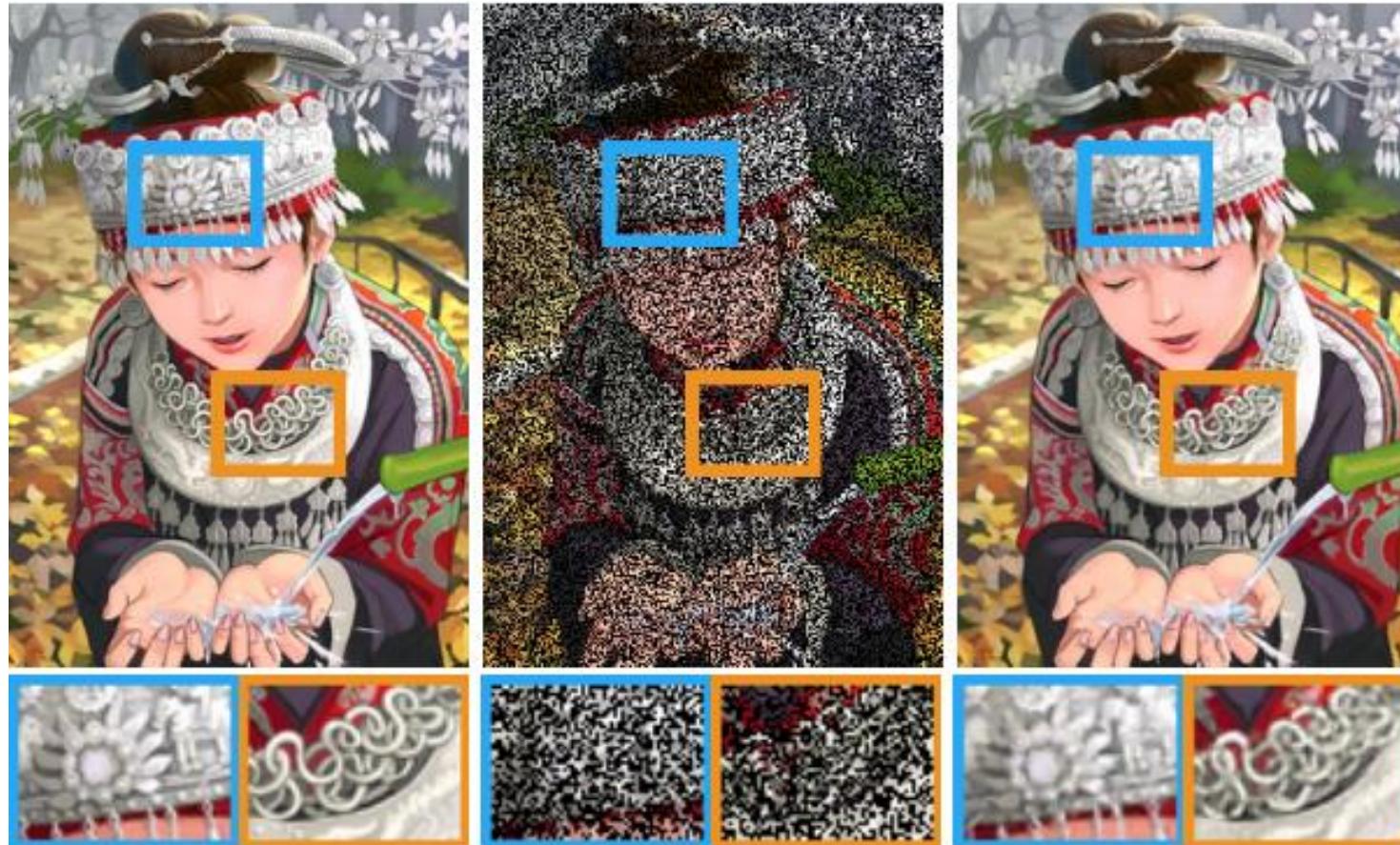
denoise_nl_means



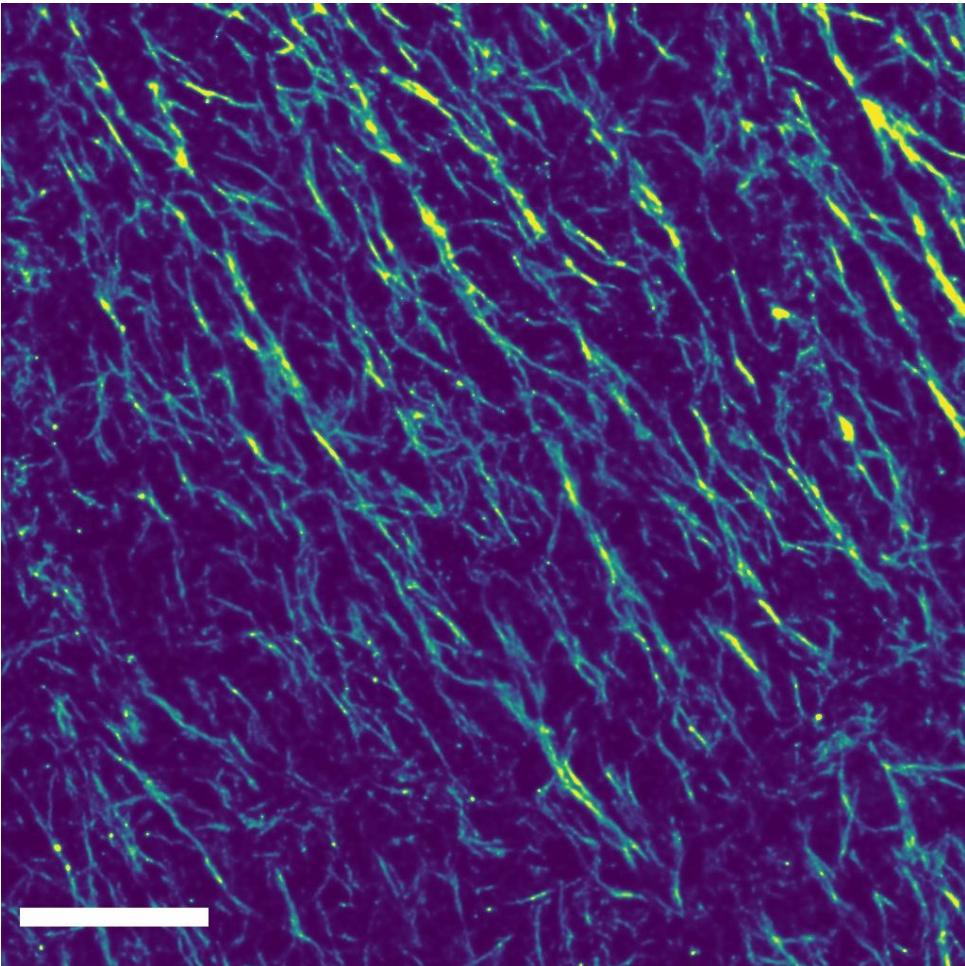
- **Apprentissage profond**

- Supervisé avec des paires d'images propres / bruitées
- Supervisé avec des paires d'images bruitées
- Non supervisé (*Deep image priors*)

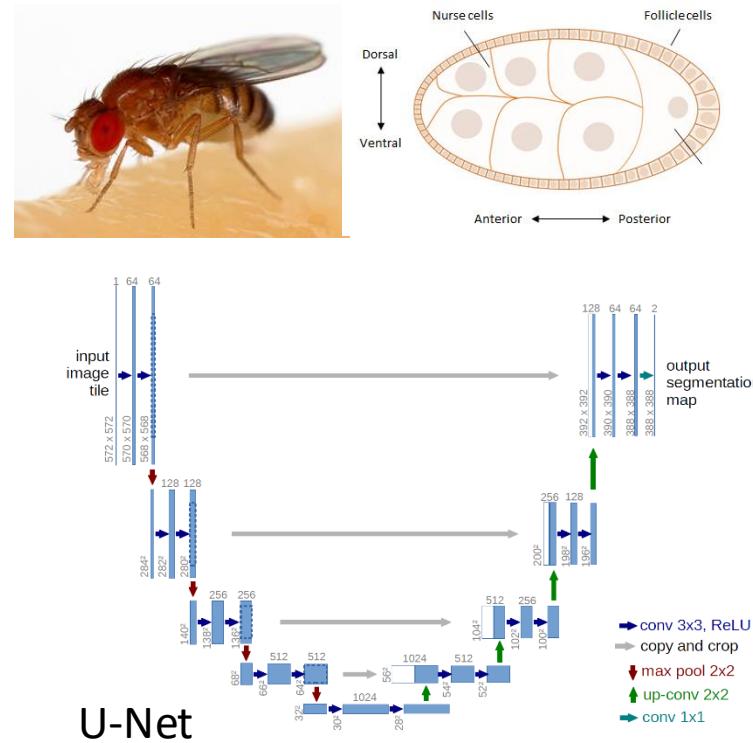
Exemple de débruitage avec Noise2Noise (Apprentissage profond non supervisé)



Exemple : Reconstruction à partir de données partielles en utilisant un réseau de neurones profond



INF600F (A2024)



Filaments d'actines
Embryon de mouche à fruit
Imagerie par Peptide-PAINT
(Lefebvre, 2020)

Dégradation

Chapitre 4 : Restauration d'images

Joël Lefebvre (UQÀM)

INF600F – Traitement d'images

Restauration d'images

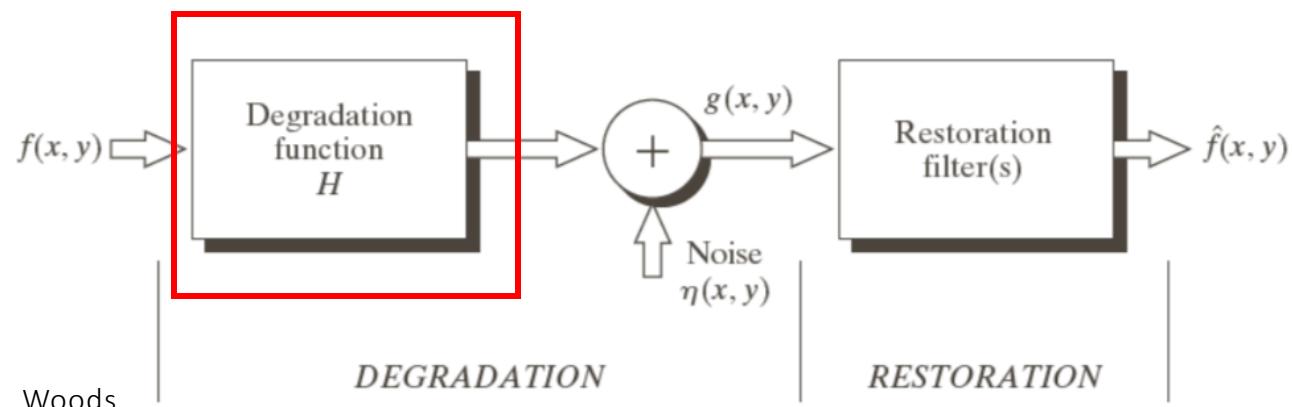
Modèle de formation d'image

$$g(x, y) = (h * f)(x, y) + \eta(x, y)$$

Dans le domaine fréquentiel

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v)$$

FIGURE 5.1
A model of the
image
degradation/
restoration
process.



Modèle de dégradation linéaire

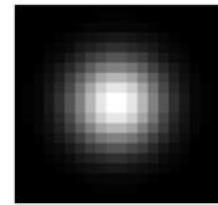
$f(x, y)$



$h(x, y)$

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-r^2/2\sigma^2}$$

*



$g(x, y)$



$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y)$$

Fonction d'étalement du point (PSF)

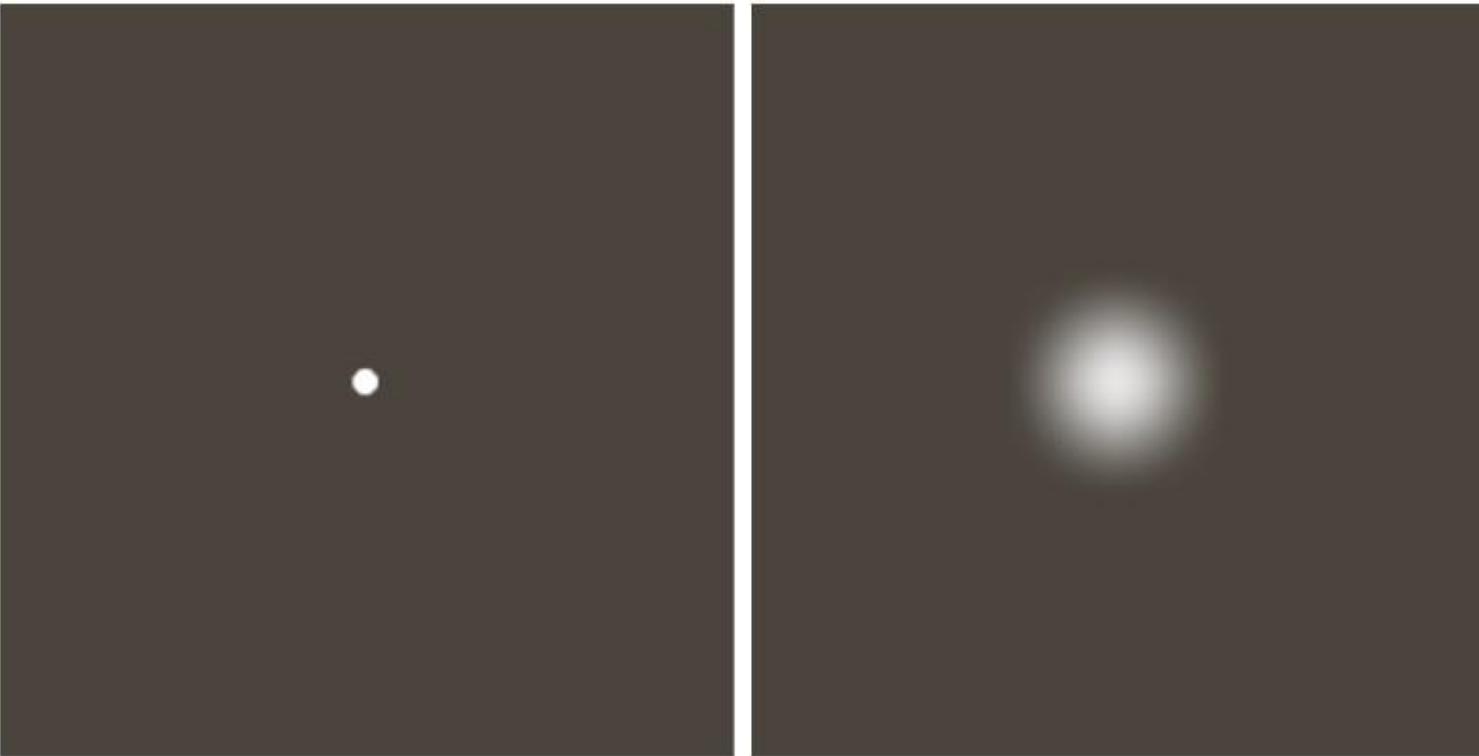
a b

FIGURE 5.24

Degradation estimation by impulse characterization.

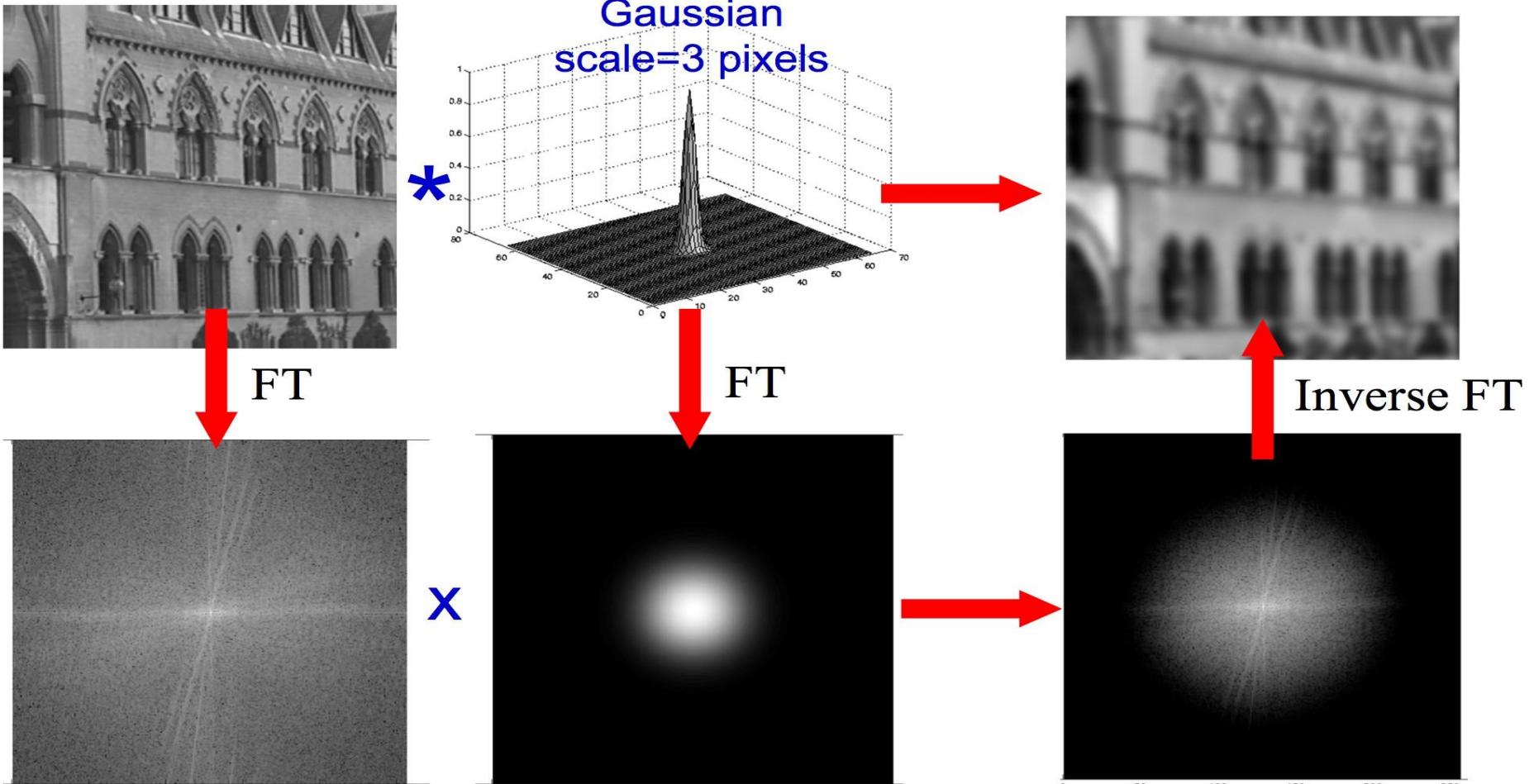
(a) An impulse of light (shown magnified).

(b) Imaged (degraded) impulse.



$$g(x, y) = \int \int h(x - x', y - y') f(x', y') dx' dy' + n(x, y)$$

Exemple : dégradation dans les domaines spatial et fréquentiel



Approche 1 : Filtre inverse



$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) + n(x,y) \Leftrightarrow G(u,v) = H(u,v) F(u,v) + N(u,v)$$

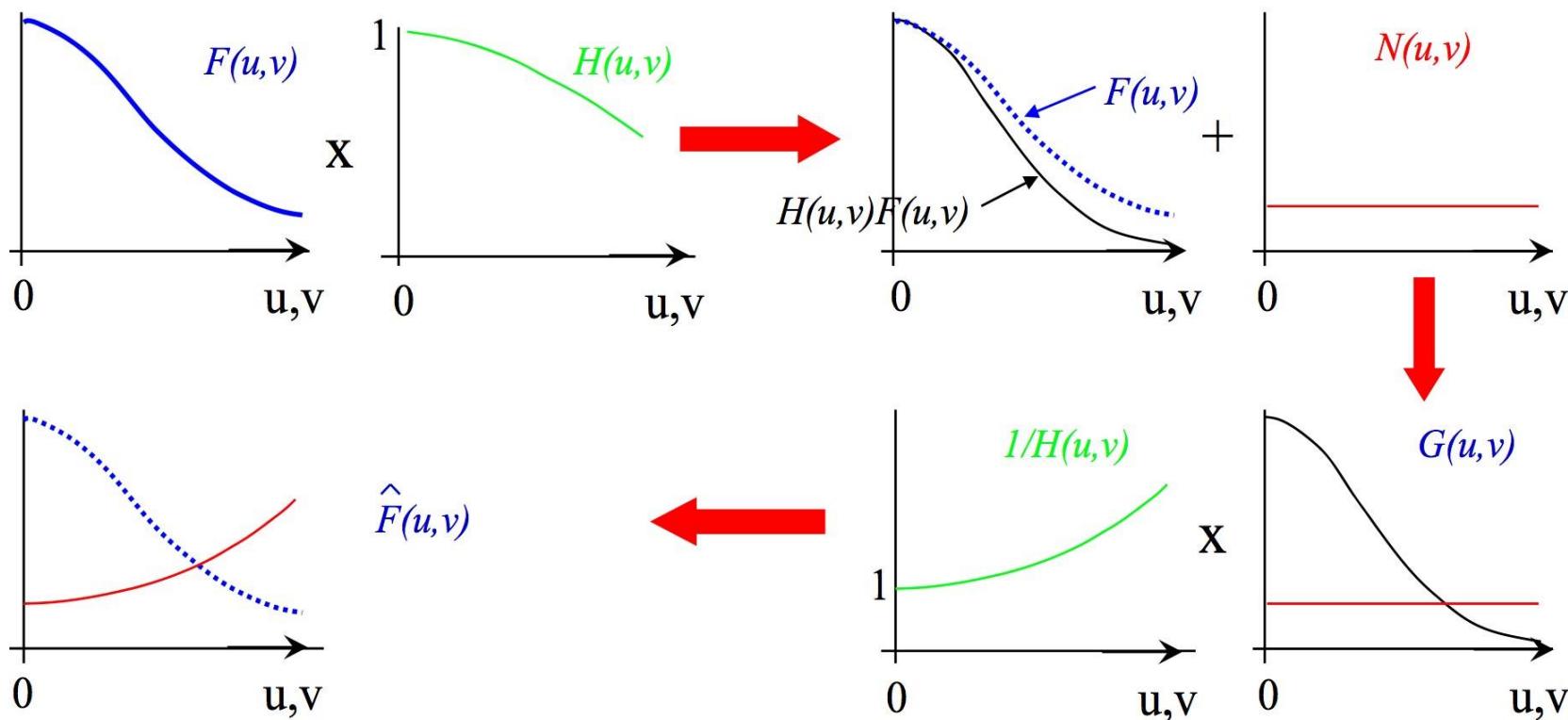
$$\hat{F}(u,v) = G(u,v) / H(u,v)$$



Filtre inverse et amplification du bruit

$$G(u,v) = H(u,v) F(u,v) + N(u,v)$$

$$\hat{F}(u,v) = G(u,v) / H(u,v) = F(u,v) + N(u,v) / H(u,v)$$



© Zisserman

Filtre inverse et fréquence de coupure

a b
c d

FIGURE 5.27

Restoring Fig. 5.25(b) with Eq. (5.7-1). (a) Result of using the full filter. (b) Result with H cut off outside a radius of 40; (c) outside a radius of 70; and (d) outside a radius of 85.



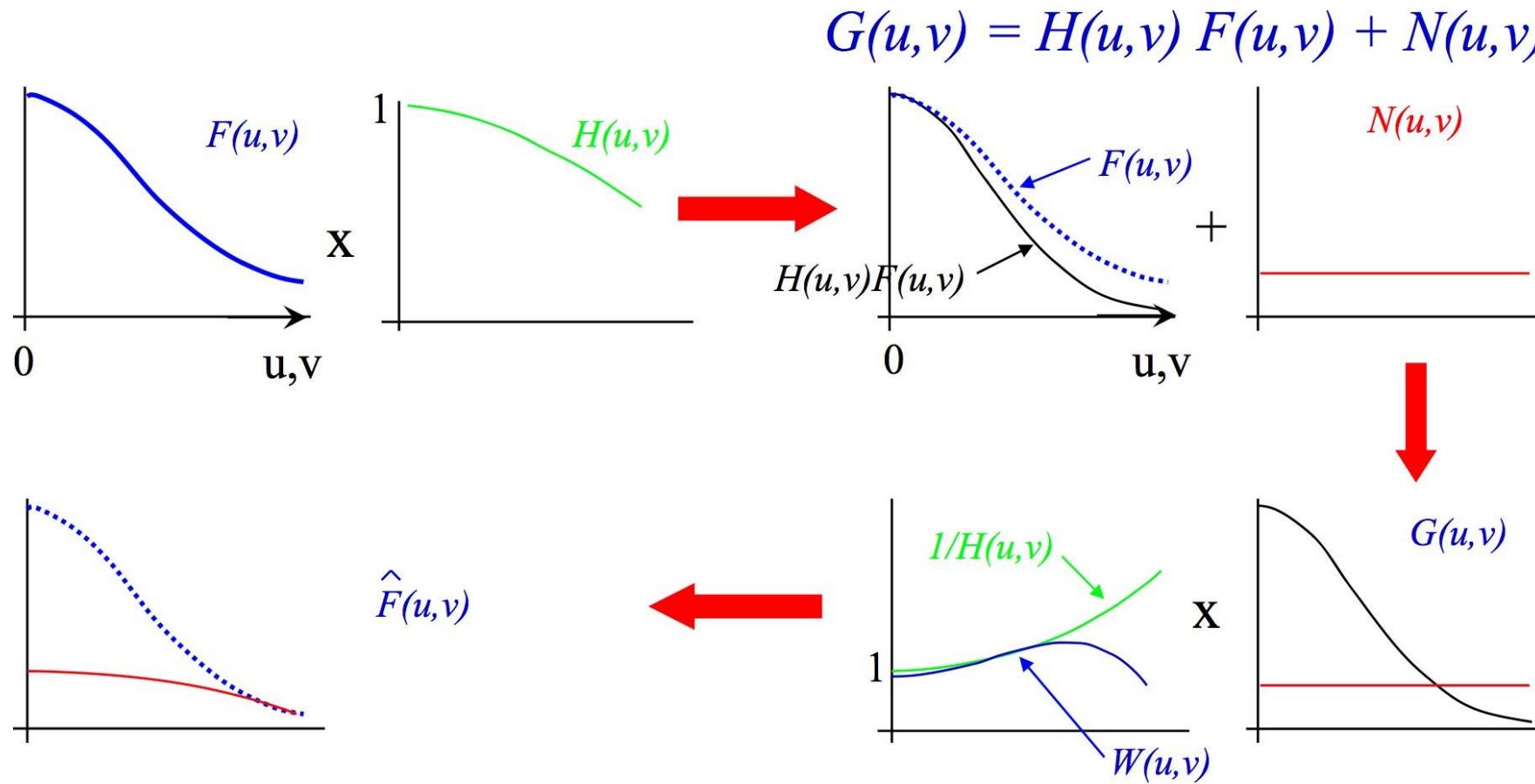
$$\hat{F}(u, v) = G(u, v) / H(u, v)$$

Filtre Wiener $W(u, v)$

$$\begin{aligned} F(u, v) &\approx \left[\frac{1}{H(u, v)} \right] \cdot \left[\frac{|H(u, v)|^2}{K + |H(u, v)|^2} \right] \cdot G(u, v) \\ &= W(u, v) \cdot G(u, v) \end{aligned}$$

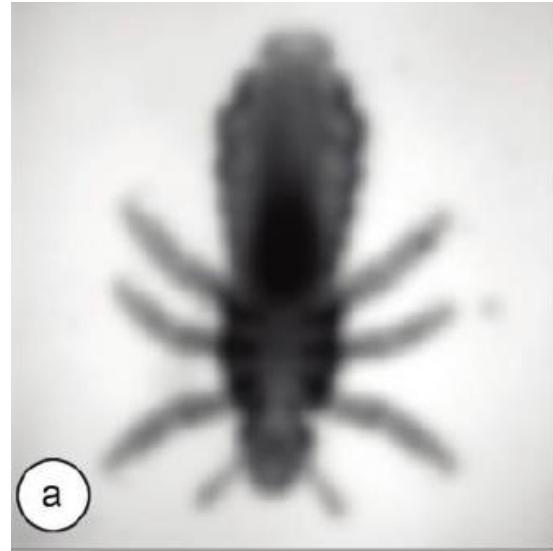
- Le paramètre K permet de contrôler le **compromis entre restauration et bruit.**
- **Note :** Le paramètre K peut être calculé théoriquement si le bruit est de type gaussien additif.

Filtre Wiener et amplification du bruit

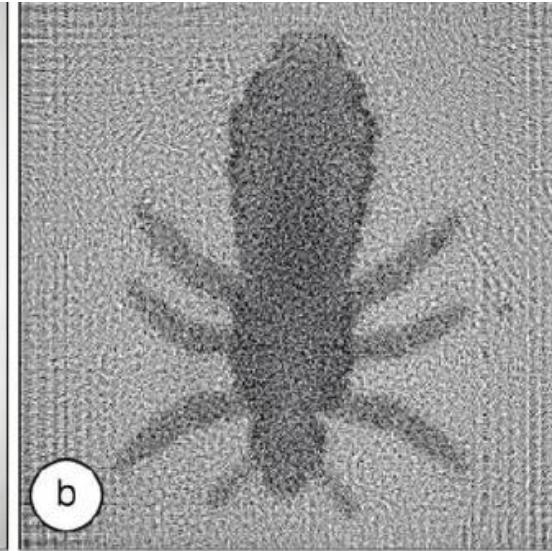


Exemple : Déconvolution de Wiener

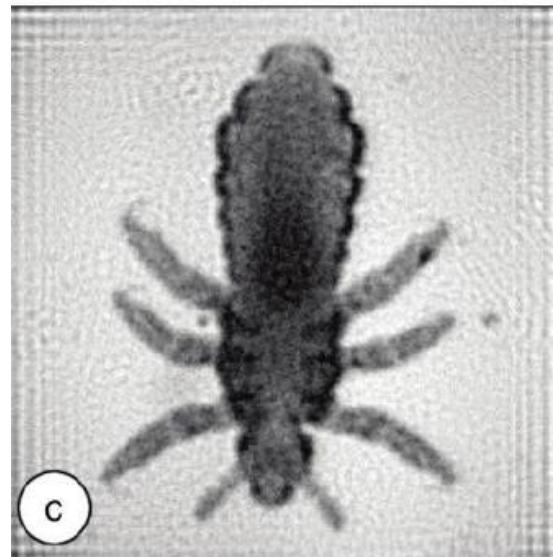
Image dégradée
(Flou + Bruit
gaussien)



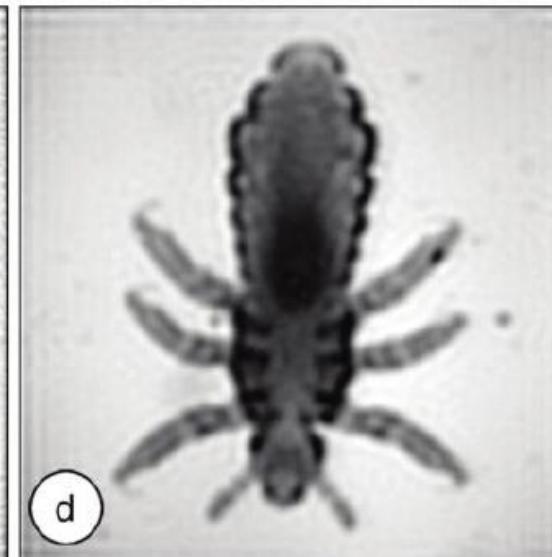
Déconvolution
simple



Déconvolution de
Wiener, K petit



Déconvolution de
Wiener, K grand



Filtre de Wiener : Effet du paramètre K

blur $\sigma = 1.5$ pixels

noise $\sigma = 0.3$ grey levels

$$\hat{F}(u,v) = W(u,v) G(u,v) \quad W(u,v) = \frac{H^*(u,v)}{|H(u,v)|^2 + K(u,v)}$$

$g(x,y)$



$\hat{f}(x,y)$



$K = 1.0 \text{ e } -5$



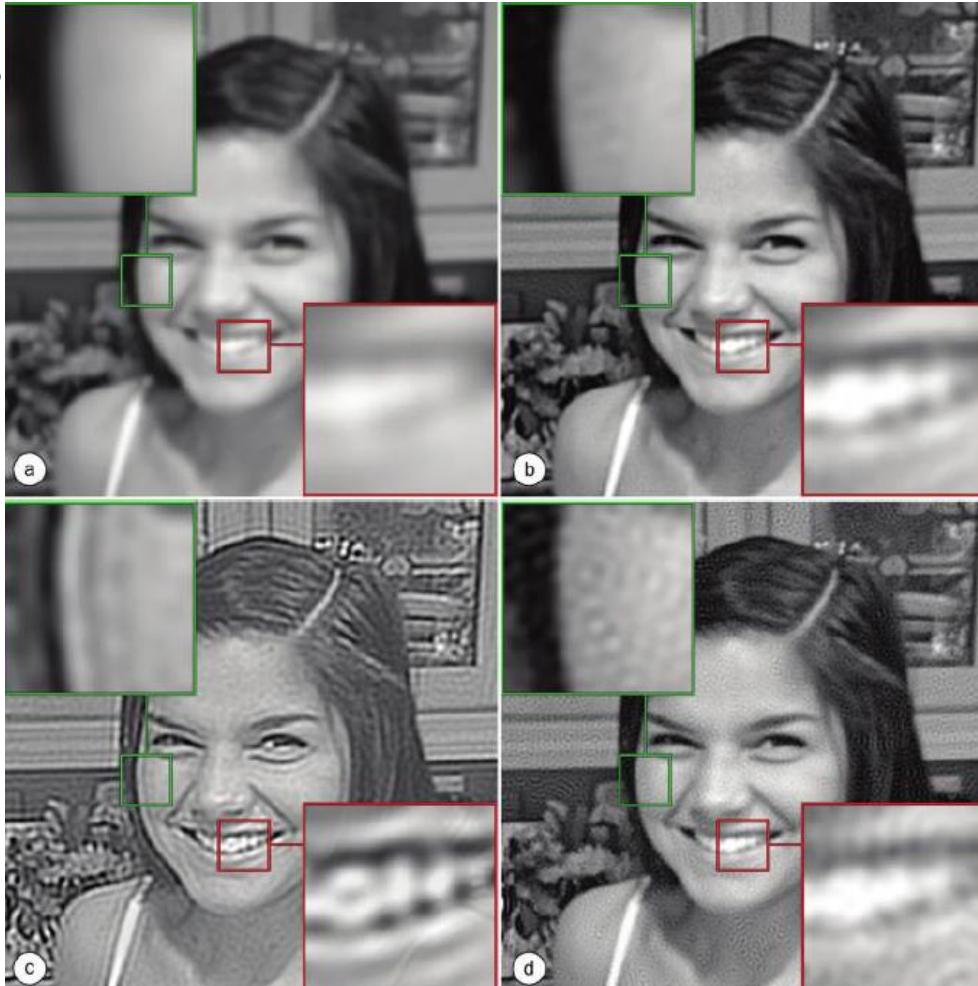
$K = 1.0 \text{ e } -3$



$K = 1.0 \text{ e } -1$

Exemple : Déconvolution de Wiener pour une image hors-focus

Image hors-focus



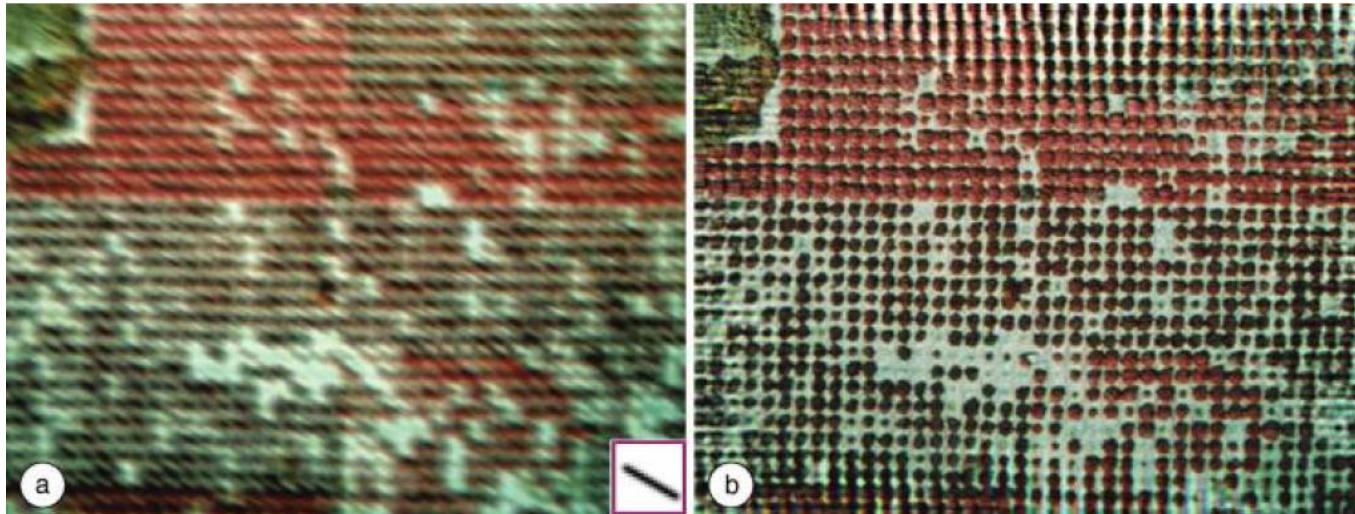
Déconvolution avec Wiener

Déconvolution avec Wiener, PSF trop large.
Apparition de « halos » près des contours

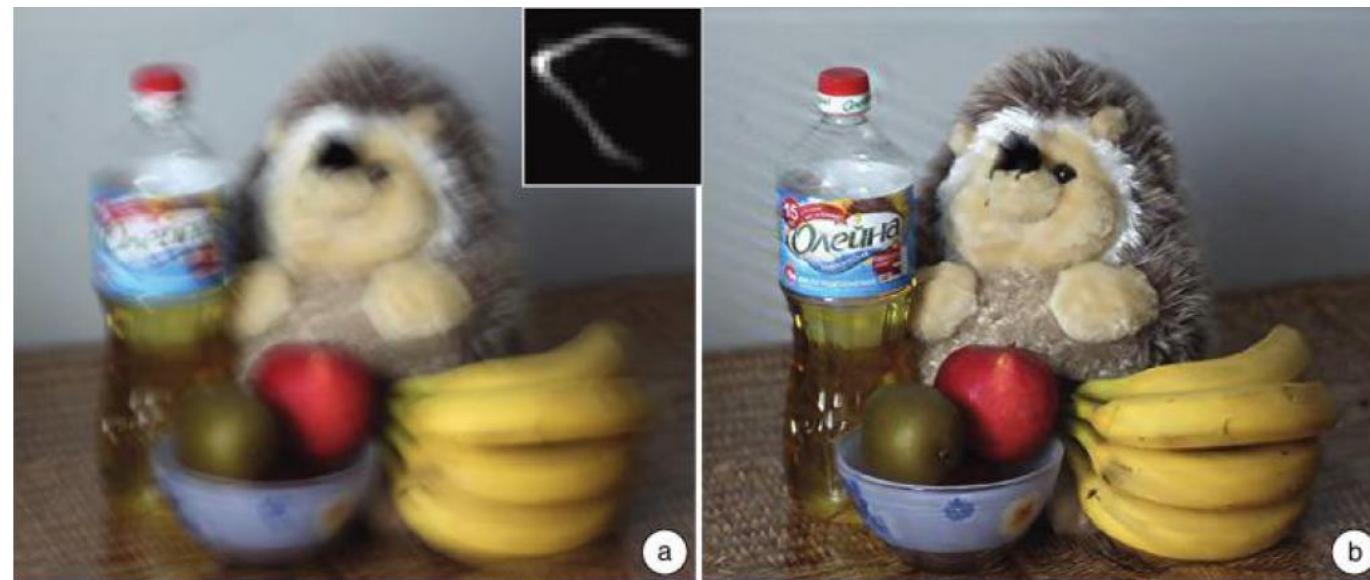
Déconvolution avec Wiener, K trop faible,
amplification excessive du bruit

Russ Fig6.43

Application : Élimination du flou cinétique



Imagerie aérienne
d'un verger.
Russ Fig6.50



Mouvement
complexe lors
d'une capture
caméra.
Russ Fig6.52

Exemple : Wiener et flou cinétique

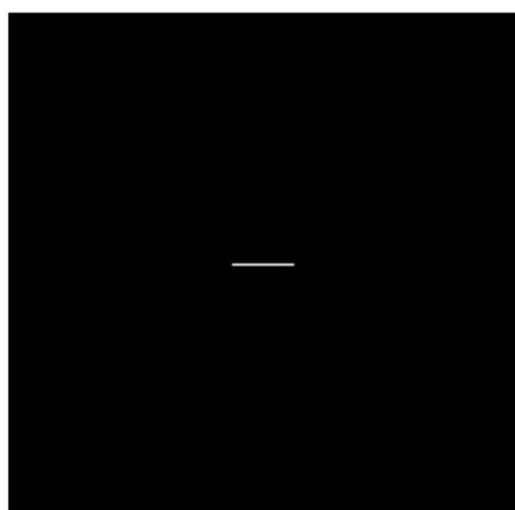


Traitement
d'images judiciaires
Détection d'un
numéro de plaque
à partir de
vidéosurveillance

$f(x,y)$



$h(x,y)$

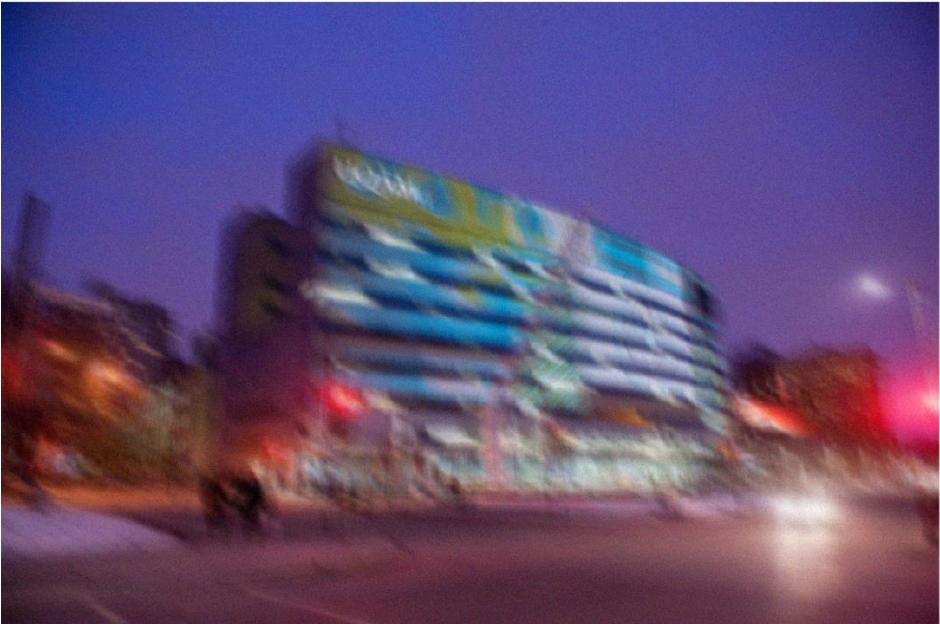


$\hat{f}(x,y)$



Exemple : Dégradation par flou cinétique et déconvolution

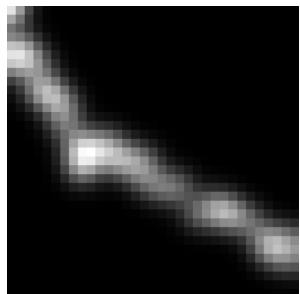
Image dégradée



Déconvolution de Wiener



Dégradation cinétique $h(x, y)$:



$$g(x, y) = (h \star f)(x, y) + \eta(x, y)$$

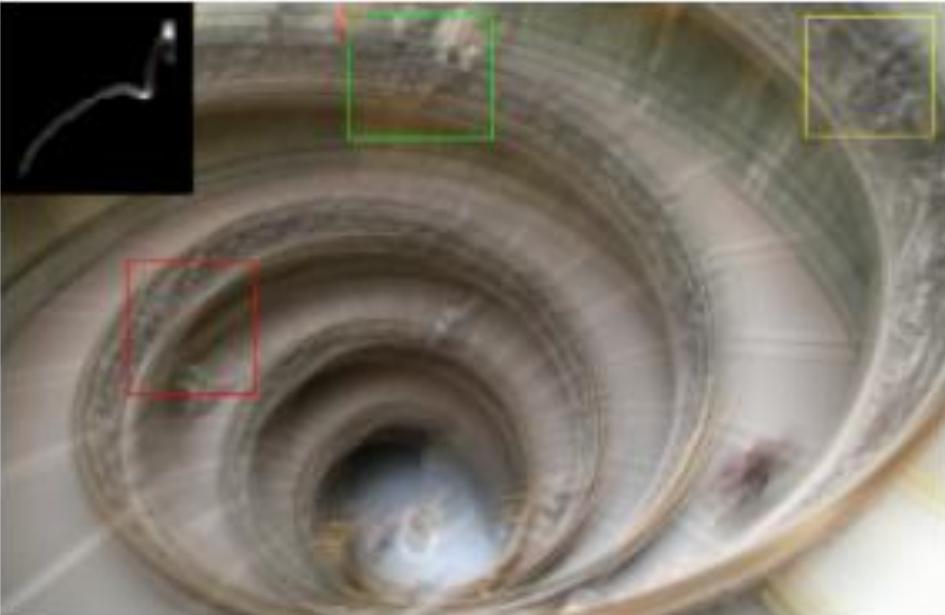
$$\eta(x, y) \sim \mathcal{N}(\bar{z} = 0, \sigma^2 = 10^{-3})$$

Autres approches de déconvolution

- **Méthodes itératives** (ex. : Déconvolution de Richardson-Lucy)
- **Déconvolution aveugle** : la dégradation $H(u,v)$ est estimée à partir de l'image à restaurer
- Plusieurs méthodes de déconvolution disponibles dans le module ***skimage.restoration***
- **Sujet de recherche actif** : Utilisation de réseaux de neurones pour restaurer une image dégradée.

Exemple : Déconvolution aveugle avec un réseau de neurones profond (SelfDeblur)

Image dégradée



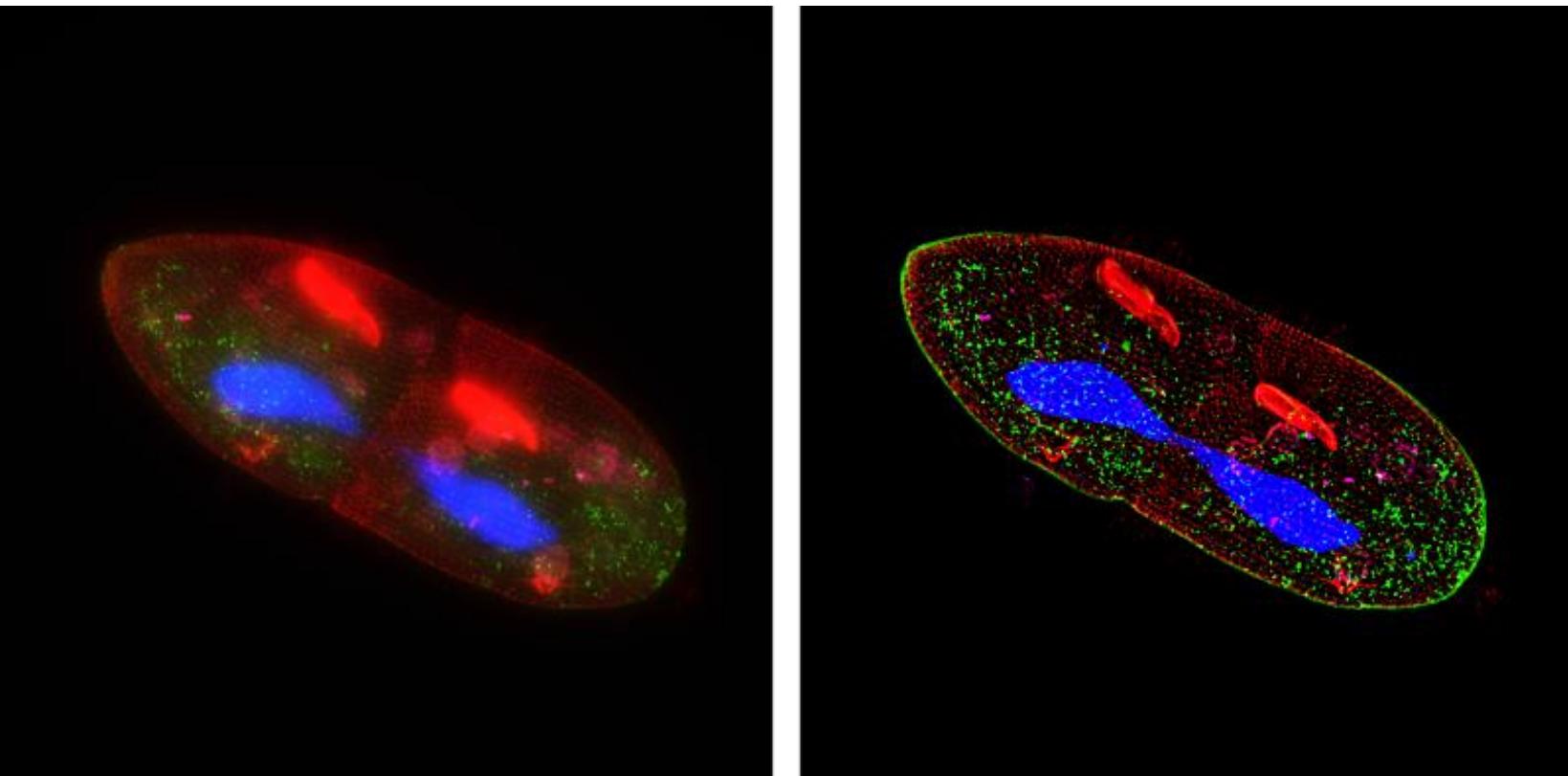
Déconvolution aveugle par CNN



(Ren2019)
SelfDeblur

Modalité d'imagerie : Microscopie optique par déconvolution

Microscopie en fluorescence plein-champ d'une paramécie avant (gauche) et après (droite) une déconvolution ([Source](#))



Examen intra

Chapitre 4 : Restauration d'images

Joël Lefebvre (UQÀM)

INF600F – Traitement d'images

Examen intra (mercredi 16 octobre)

- **2 salles** (séparé selon la première lettre de votre code permanent / nom)
 - SH-2140 : A à K (Salle habituelle du cours)
 - SH-3140 : L à Z
- **Pondération** : 25%
- **Date** : 16 octobre 2024
- **Heure** : 14h à 17h
- **Durée** : 3h
- **Autres inscriptions**
 - **Documentation** : 1 feuille de note (8 ½ x 11) recto verso (manuscrite)
 - Aucune calculatrice / ordinateur / téléphone / etc.
 - **Apportez votre carte étudiante / carte d'identité**
 - **Les surveillants ne répondront à aucune question.**
 - En cas de doute, indiquez-le dans votre réponse.

Rappel du règlement 18

- Tout acte de **plagiat, fraude, copiage, tricherie ou falsification** de document commis par un.e étudiant.e, de même que toute participation à ces actes ou tentative de les commettre, à l'occasion d'un examen ou d'un travail faisant l'objet d'une évaluation ou dans toute autre circonstance, constituent une **infraction** au sens du règlement 18 (<http://r18.uqam.ca/>).
- Les règlements concernant le plagiat seront strictement appliqués.
- Les infractions seront déclarées **au comité d'infractions académiques** de la faculté qui a la responsabilité d'évaluer les actes et de décider des **sanctions**
- Pour plus d'informations : <http://www.infosphere.uqam.ca/rediger-untravail/eviter-plagiat>

Matière couverte

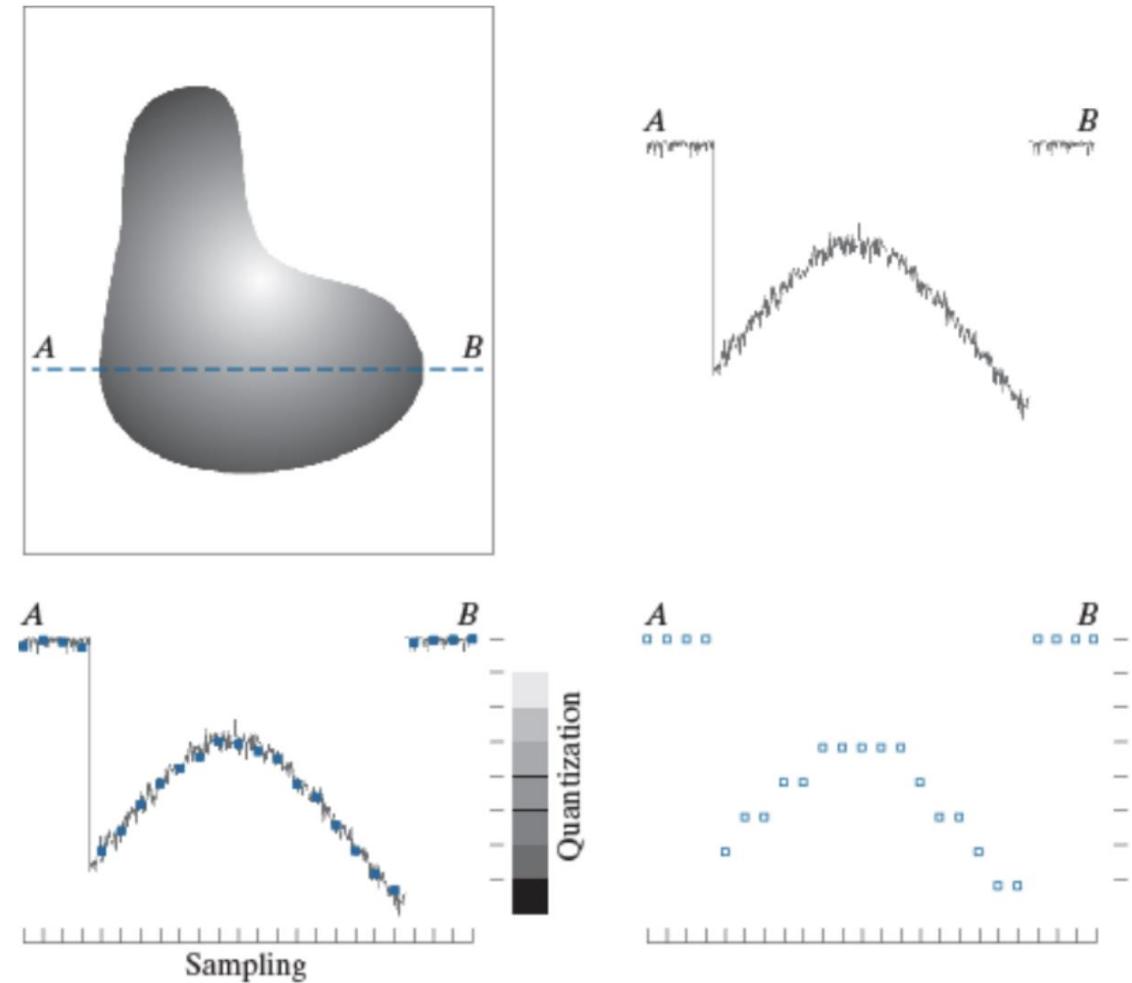
- Les chapitres 1 à 4, inclusivement.
 - **Chapitre 1** : Introduction au traitement d'images
 - **Chapitre 2** : Traitements dans le domaine spatial
 - **Chapitre 3** : Traitements dans le domaine fréquentiel
 - **Chapitre 4** : Restauration d'images
- **Note** : révisez aussi les devoirs et ateliers pratiques, il pourrait y avoir des questions à ce sujet.
- Une **révision** de plusieurs concepts importants sera faite ce **vendredi à l'atelier pratique** avec Étienne.

Styles de questions

- Vrai / Faux avec explication
- Explications des liens entre concepts en quelques phrases
- Association entre code et résultat, avec explication
- Calcul simple
- Question à développement (mise en situation)
- **Pas de programmation sur papier.** Si un algorithme ou du code est demandé, le pseudocode est accepté
- **Vaux mieux une réponse partielle qu'aucune réponse**

(Survol) Chapitre 1 : Introduction

- Types d'images numériques
- Modalité d'imageries
- Niveaux de traitement d'images
- Perception visuelle
- Formation d'images numérique
 - Acquisition
 - Numérisation
 - Quantification / Échantillonnage
 - Représentation matricielle
 - Systèmes de coordonnées
 - Format d'image



(Survol) Chapitre 2 : Domaine spatial

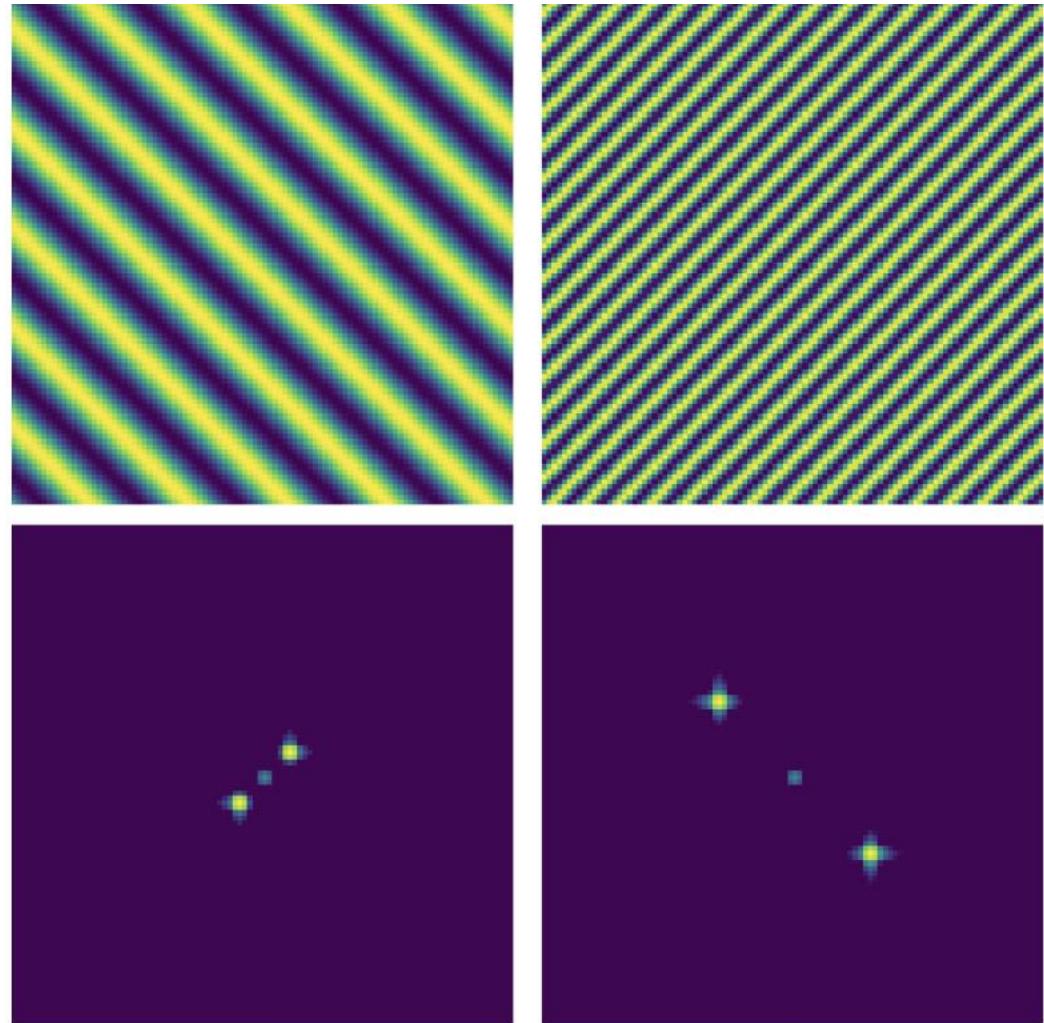
- Définitions de bases (voisinage, adjacence, distance, etc)
- Opérations ponctuelles (ex. arithmétique)
- Opérations locales (ex. convolution)
- Opération globales (ex. histogramme)
- Opérations sur l'histogramme
- Transformations géométriques
- Filtrage, convolution, corrélation
- Filtres usuels (moyenneur, gaussien, médian, etc)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	90	90	90	90	90	0	0	0	0
0	0	0	90	90	90	90	90	0	0	0	0
0	0	0	90	90	90	90	90	0	0	0	0
0	0	0	90	0	90	90	90	0	0	0	0
0	0	0	90	90	90	90	90	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	10	20	30	30	
					?

(Survol) Chapitre 3 : Domaine fréquentiel

- Sous-échantillonnage
- Pyramide d'images
- Série de Fourier
- Domaine fréquentiel
- Transformée de Fourier
- Filtrage dans le domaine fréquentiel
- Applications
- Sous-échantillonnage revisité



(Survol) Chapitre 4 : Restauration

- Modèle de dégradation d'images
- Modélisation du bruit
- Restauration d'images : Volet débruitage
- Restauration d'images : Volet dégradation
 - Filtre inverse
 - Filtre de Wiener
 - Déconvolution
- Types d'outils selon le type d'artefact



Suggestions pour l'étude

- Révisez les diapositives & références
- Révisez les devoirs
- Faites des liens entre les concepts vus en cours magistral et les devoirs
- Identifiez les concepts importants pour chaque chapitre, expliquez oralement en 1 ou 2 phrases
- Assurez-vous de maîtriser les bases de l'algèbre linéaire (ex. : vecteur, matrice, produit scalaire, produit vectoriel, multiplication matricielle) et du calcul différentiel et intégral
- **Bonne étude !**