



VIII. Filtrage

- Manipulation des niveaux (de gris) des pixels en fonction de leur voisinage
 - ❖ Filtrage linéaire = convolution spatiale
 - ❖ Filtrage non linéaire

- Quel filtrage ?, pour faire quoi ?
 - ❖ Filtrage « Passe Bas »
 - Réduction, Élimination des hautes fréquences spatiales : détails, bruit
 - Lissage d'une image, réduction de bruit, ...
 - ❖ Filtrage « Passe Haut »
 - Réduction, Élimination des basses fréquences spatiales : valeur moyenne, variation spatialement lente de niveaux de gris
 - Rehaussement de contraste, ...
 - ❖ Filtrage directionnel
 - Détection de contour, Suivi de contours (cf chap. IX)

VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

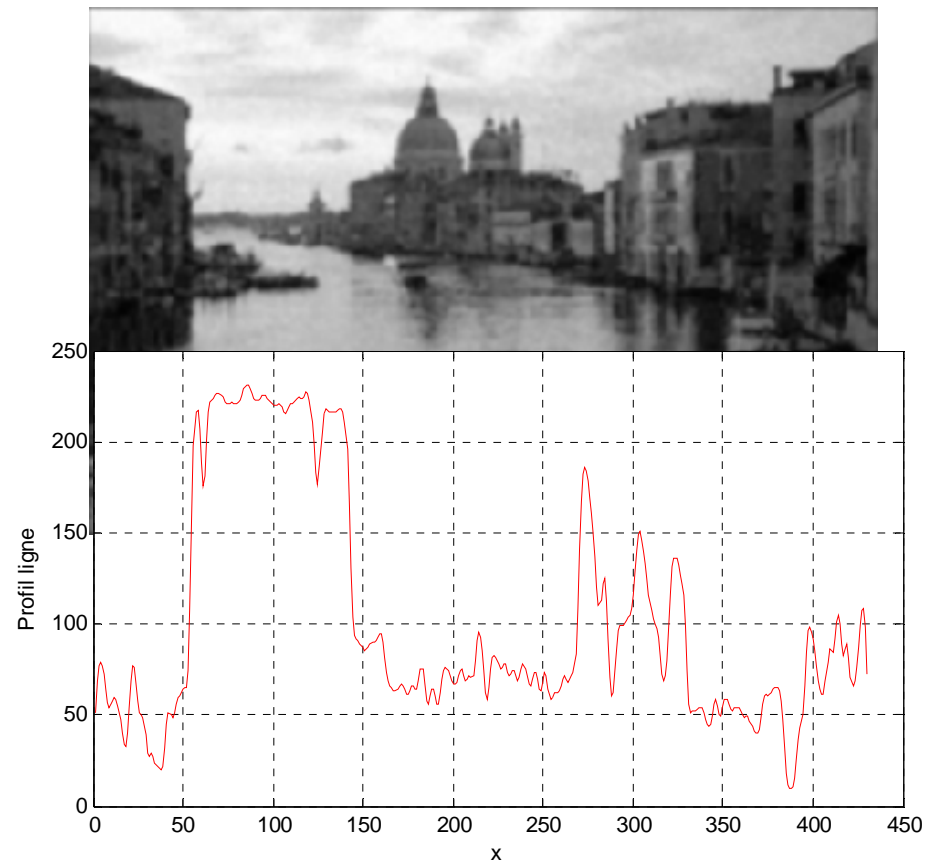
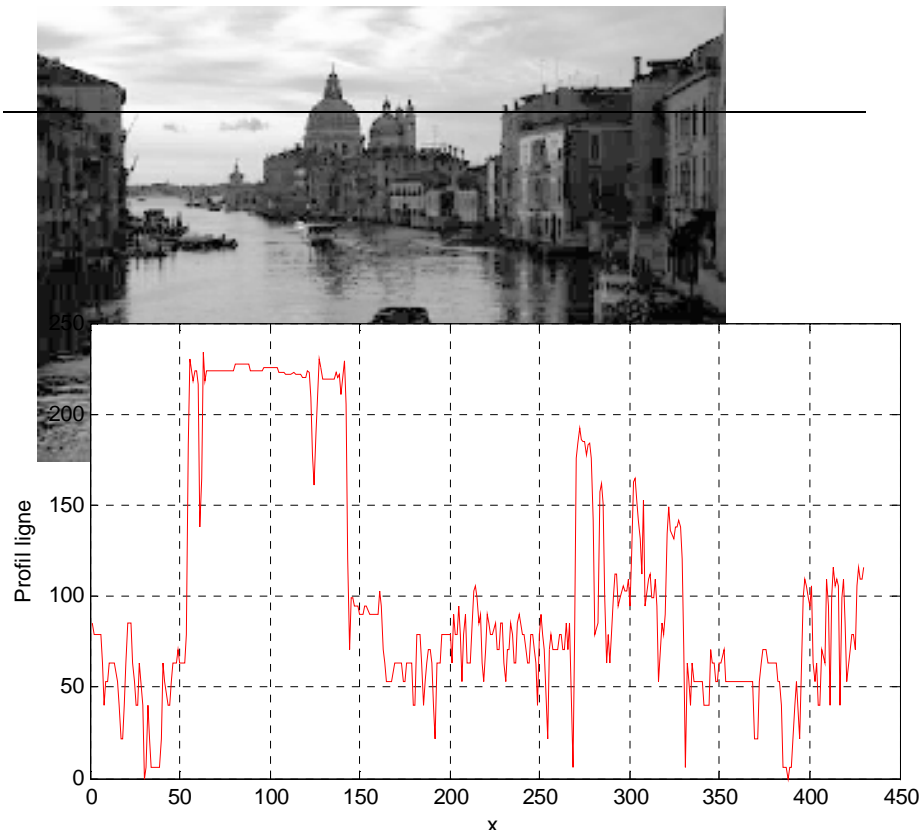
- Lissage d'une image : Exemple
 - ❖ Filtrage « Passe Bas »



VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

- Lissage d'une image : Exemple sur un profil « ligne »
 - ❖ Filtrage « Passe Bas »



VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

- Réduction de bruit : Exemple
 - ❖ Filtrage « Passe Bas »



VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

□ Réduction de bruit : Profil « ligne »

◆ Filtrage « Passe Bas »

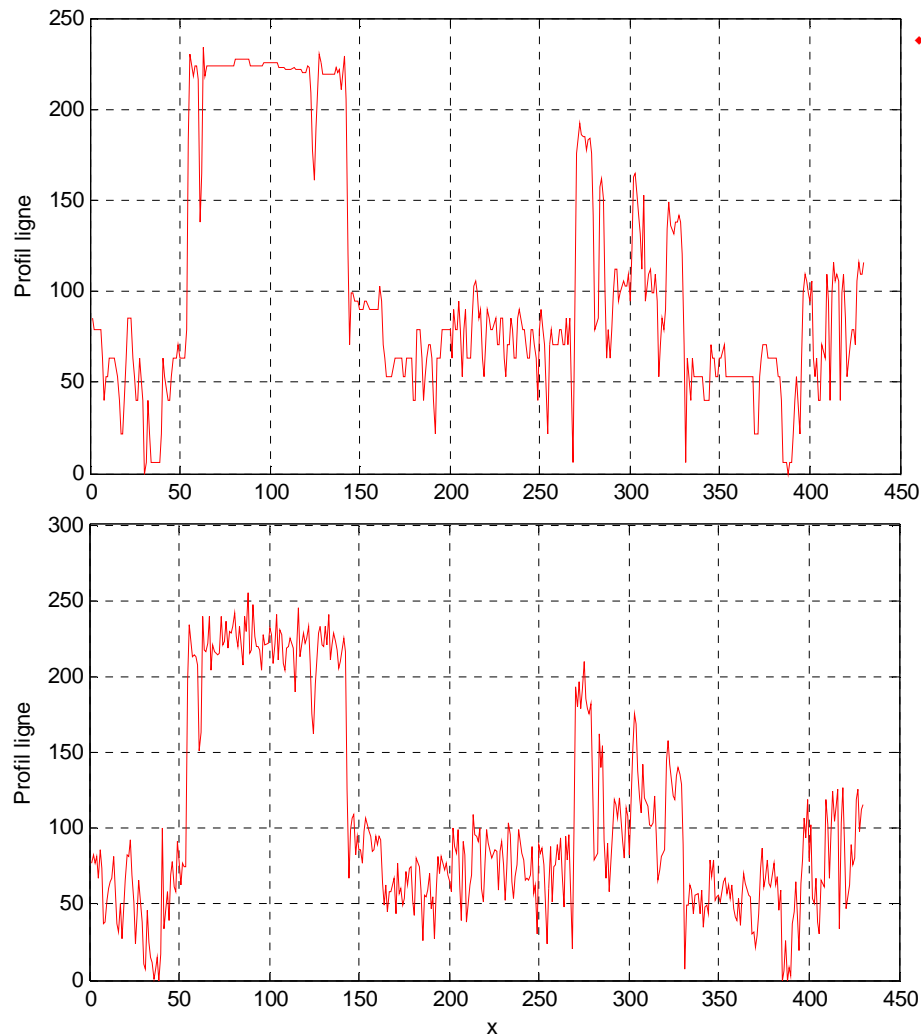


Image d'origine

Image bruitée

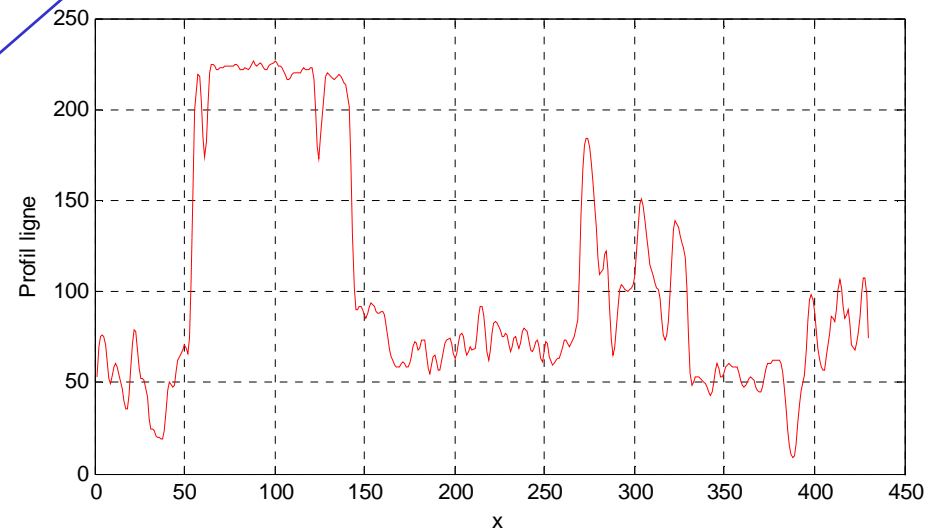


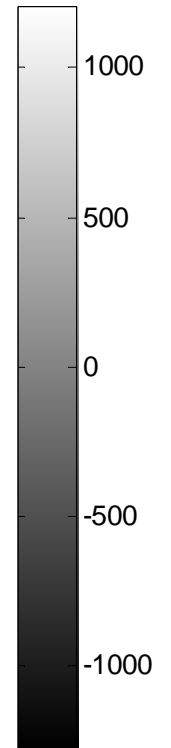
Image bruitée filtrée

GINF41A6 - AGD

VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

- Image des « contours » :
 - ❖ Filtrage « Passe Haut »

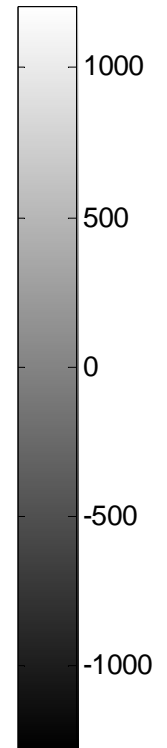
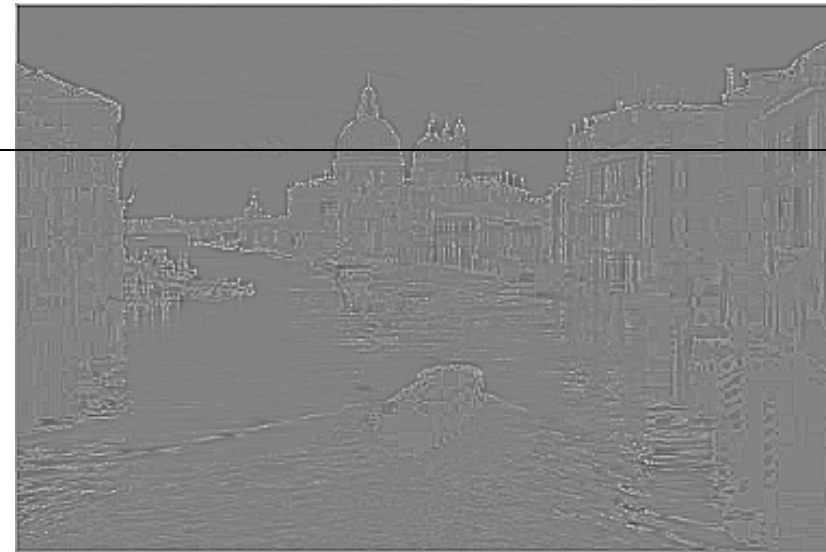
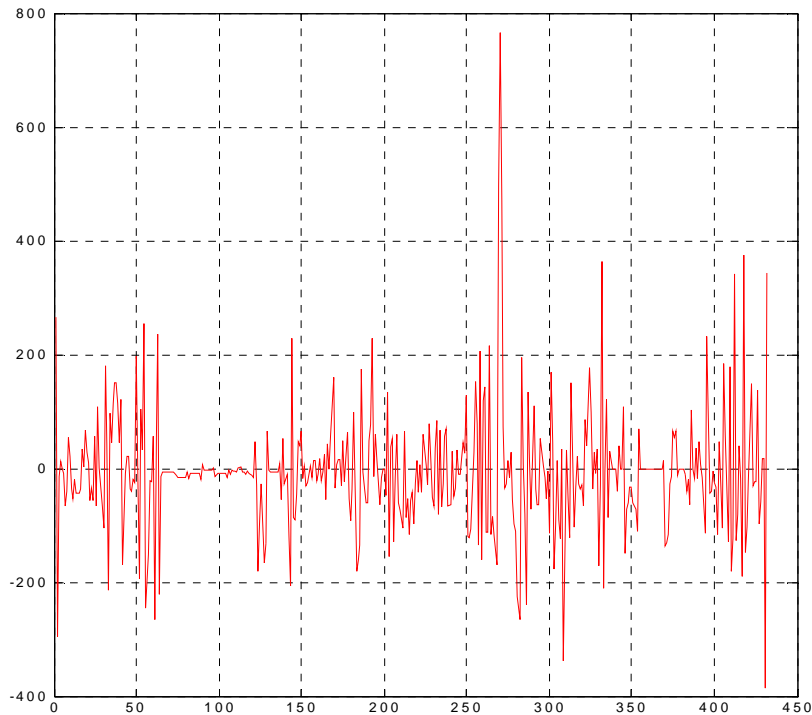


- ❖ On note
 - L'information est uniquement localisée sur les variations de niveaux de gris, donc filtrage sensible aux bruits
 - Le signe de la valeur en sortie code le sens du contraste

VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

- Image des « contours » : Exemple profil « ligne »
 - ❖ Filtrage « Passe Haut »



- ❖ On note
 - C'est une information très sensible au bruit

VIII. Filtrage

VIII.1 Exemples

- Rehaussement de contraste : Exemple
 - ❖ Filtrage « Passe Haut »
 - ❖ Rehaussement : $\text{Image_out} = \text{Image_in} + \alpha \cdot \text{Image_contrast}$



VIII. Filtrage

VIII.2 Technique de Filtrage Linéaire

- Filtrage linéaire = convolution spatiale
- Un opérateur de filtrage linéaire = un noyau de convolution (« *Kernel* »)
 - ❖ Matrice 2D de taille $[L_k \times C_k]$, beaucoup plus petite que l'image
- Exemple : le noyau le plus simple :
 - ❖ Noyau « Moyenneur »
 - $I_s[i,j]$ = moyenne avec ses 8 plus proches voisins



$$K = \frac{1}{9} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

VIII. Filtrage

VIII.2 Technique de Filtrage Linéaire

□ Algorithme de la convolution spatiale

- ❖ Considérons un noyau avec un nombre impair de lignes et de colonnes

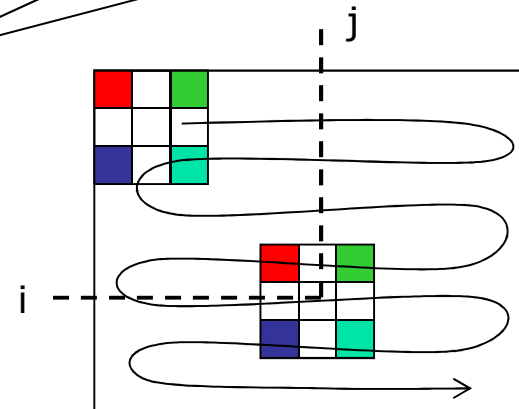
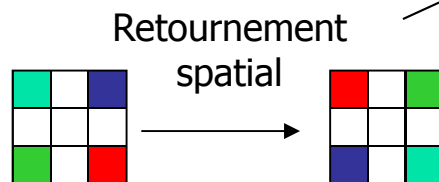
➤ $L_k = 2 \times l_k + 1$; $C_k = 2 \times c_k + 1$



$$I_s[i, j] = \sum_{m=-l_k}^{+l_k} \sum_{n=-c_k}^{+c_k} K[m, n] \times I_e[i-m, j-n]$$

$$I_s[i, j] = (K \otimes I_e)[i, j]$$

Produit de convolution



VIII. Filtrage

VIII.2 Technique de Filtrage Linéaire

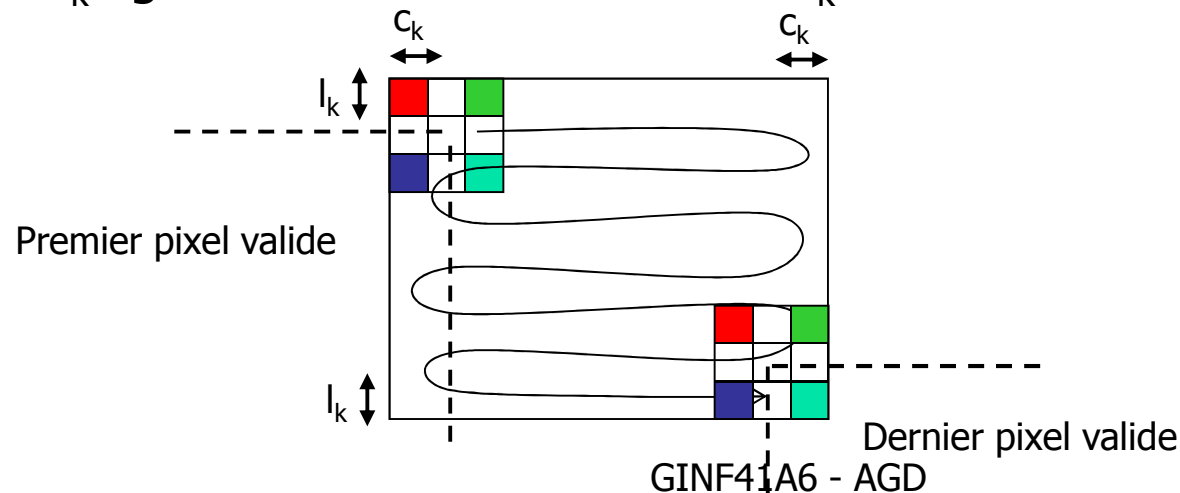
□ Algorithme de la convolution spatiale

❖ Retournement spatial

- Issu du traitement du signal 1D : causalité
- En traitement d'image 2D :
 - ✓ aucun effet si le noyau K est symétrique

❖ Effets de bord

- l_k lignes en haut et en haut et c_k colonnes à droite et à gauche



VIII. Filtrage

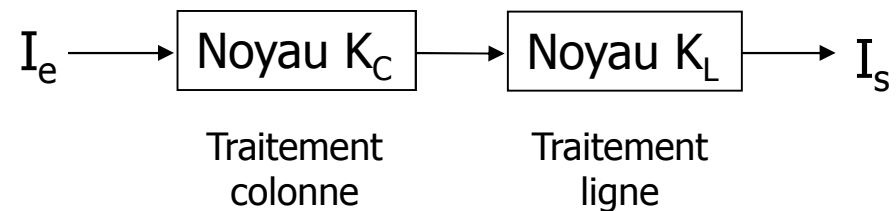
VIII.2 Technique de Filtrage Linéaire

□ Algorithme de la convolution spatiale

❖ Nombre d'opérations par pixel

- Cas général : Proportionnel au nombre de coefficients : $L_k \times C_k$
- Cas des noyaux symétriques : noyau séparable en ligne et en colonne
 - ✓ Proportionnel à $L_k + C_k$
 - ✓ Intéressant pour les noyaux de grande taille

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ a \end{bmatrix}_{K_C} \otimes \begin{bmatrix} \alpha & \beta & \alpha \end{bmatrix}_{K_L} = \begin{bmatrix} a\alpha & a\beta & a\alpha \\ b\alpha & b\beta & b\alpha \\ a\alpha & a\beta & a\alpha \end{bmatrix}_K$$





VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

- ❑ Différents sources de Bruit
 - ❖ Capteurs
 - ❖ Contexte d'acquisition : sur, sous exposition, durée d'exposition, ...
 - ❖ Echantillonnage, Quantification
 - ❖ Contexte de la scène : grains, rayures photo, ...
 - ❖ Transmission
 - ❖ Compression avec pertes
 - ❖ ...



VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

- Réduire le bruit dans une image

- ❖ Se donner un modèle de type de perturbation et de bruit

- Modèles de type de perturbation

- ❖ Bruit additif (transmission, capteurs, ...)
- ❖ Bruit multiplicatif (exemple : imagerie multispectrale : grain Speckle)
- ❖ Bruit convolutif (exemple : flou = défaut de mise au point)

- Modèles de Bruit

- ❖ Modèle impulsif

- Distribution **exponentielle**, **gaussienne**, **uniforme**
- Si additif : réduction par filtrage linéaire

- ❖ Modèle « Sel et Poivre » (« Salt and Pepper »)

- Exemple : poussières sur caméra
- Réduction par filtrage NL = filtrage « Médian »

$$f(a) = C \times \exp\left(-K|a|^\alpha\right)$$

$\alpha=1$
 $\alpha=2$
 $\alpha \rightarrow \infty$

VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

□ Modélisation du bruit « Salt and Pepper »

❖ Paramétrage

- « p » : la proportion des pixels altérés uniformément répartis dans l'image
- La moitié de ces pixels est positionnée à une valeur « maxi »
- L'autre moitié de ces pixels est positionnée à une valeur « mini »



$p=5\%$



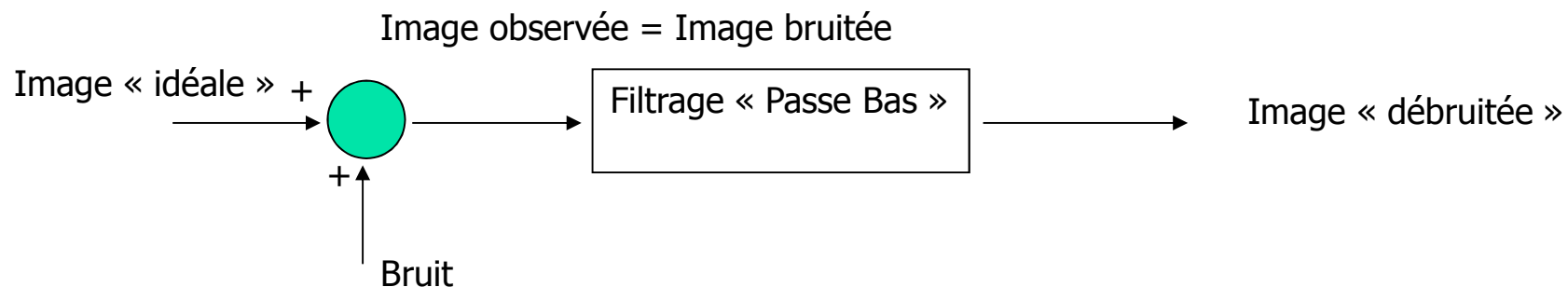
$p=10\%$

VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

□ Filtres linéaires de lissage

- ❖ Bien adaptés pour les bruit additifs impulsionnels
- ❖ Image observée : $\text{Image_Bruit} = (\text{Image} + \text{Bruit})$
- ❖ Image_Débruitée : $\text{Filtrage}(\text{Image_Bruit})$
- ❖ Effet sur l'image :
 - Atténuation des différences entre un pixel et ses voisins
 - Pas d'effet sur les larges zones homogènes
 - Elargissement des zones de transition entre régions claires et sombres



VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

□ Filtres linéaires de lissage

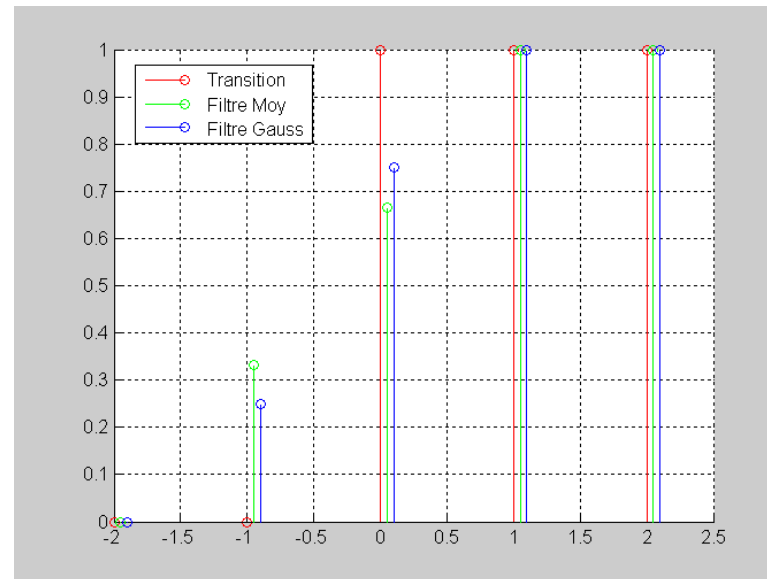
❖ Filtre « Moyenne »

- Le plus simple, performance médiocre (cf TP4)

❖ Filtre gaussien

- Noyau de convolution numérique : approximation d'une fonction gaussienne → noyaux binomiaux

$$K_{Moy} = \frac{1}{9} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



GINF41A6 - AGD

$$K_{Binom} = \frac{1}{16} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

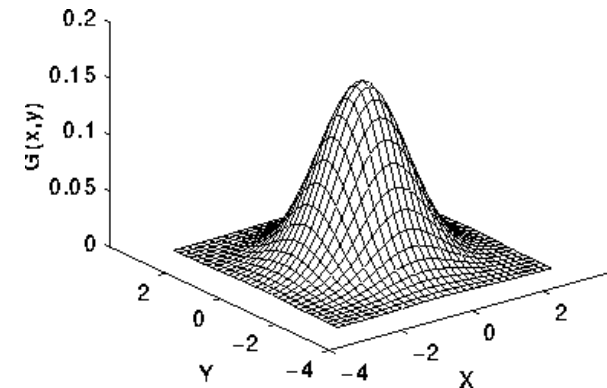
□ Filtres linéaires de lissage

❖ Filtre gaussien

- Fct Gauss. de moyenne nulle et d'écart-type σ

Approximation d'une fonction
gaussienne ($\mu = 0, \sigma = 1$ avec un
noyau K 5 x 5

$$K = \frac{1}{273} \times \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$



❖ Filtres binomiaux

- Filtres approximant les filtres gaussiens de variance entière

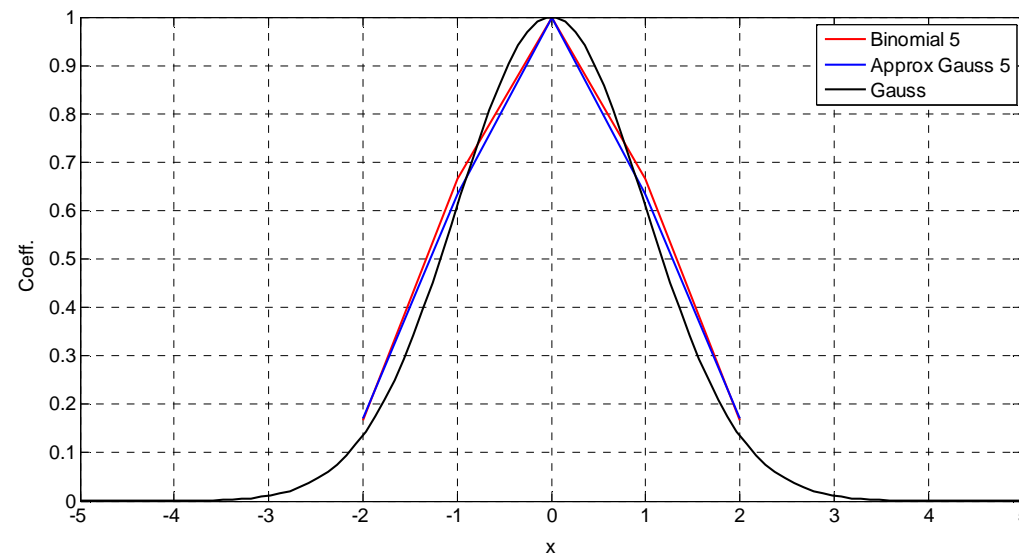
Somme = 2^n
 $\sigma^2 = n/4$

Coefficients	Niveau	Somme	σ^2	σ
1	0	1	0	0
1 1	1	2	1/4	1/2
1 2 1	2	4	1/2	$\sqrt{2}/2$
1 3 3 1	3	8	3/4	$\sqrt{3}/2$
1 4 6 4 1	4	16	1	1
1 5 10 10 5 1	5	32	5/4	$\sqrt{5}/2$
1 6 15 20 15 6 1	6	64	6/4	$\sqrt{6}/2$
1 7 21 35 35 21 7 1	7	128	7/4	$\sqrt{7}/2$
1 8 29 56 70 56 29 8	8	256	2	$\sqrt{2}$

VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

- Filtres linéaires de lissage
 - ❖ Filtre gaussien vs Binomiaux



- ❖ Obtention des filtres binomiaux par convolutions successives
 - n convolutions successives du noyau [1 1]

$$K_{binom}(n) = K_{binom}(1)^{*n}$$

VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

□ Exemple

❖ Filtrage « Passe Bas » Moyenne vs Gauss



Image bruitée



Après Filtre Binomial 5x5



Après Filtre Moyenne 5x5



VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

□ Filtrage non linéaire

- ❖ Exemple : Filtrage d'ordre
- ❖ La convolution vue comme une somme pondérée des pixels dans un voisinage V s'applique sur la liste triée des niveaux de gris
 - Soit un voisinage à $N_v = (2v+1) \times (2v+1)$ pixels
 - Soient $a_k[i,j]$ les N_v niveaux de gris triés par ordre croissant dans le voisinage V du pixel $[i,j]$
 - Soient c_k les coefficients du noyau de convolution
- ❖ Le plus utilisé : Filtre « Médian »
 - $c_k = 1$ pour $k = (N_v+1)/2$, $c_k = 0$ sinon
 - $I_s[i,j]$ = la valeur médiane dans le voisinage V
 - Elimine les valeurs aberrantes
 - Ne modifie pas la pente des transitions
 - Déplace les transitions

$$I_s[i, j] = \sum_{k=1}^{N_v} c_k \times a_k[i, j]$$

VIII. Filtrage

VIII.3 Réduction de Bruit

- Filtrage non linéaire

- ❖ Exemple : Filtre Médian vs Filtre Gauss

Salt and Pepper, $p=0.1$



Après Filtre Binomial 3×3

Après Filtre Médian





VIII. Filtrage

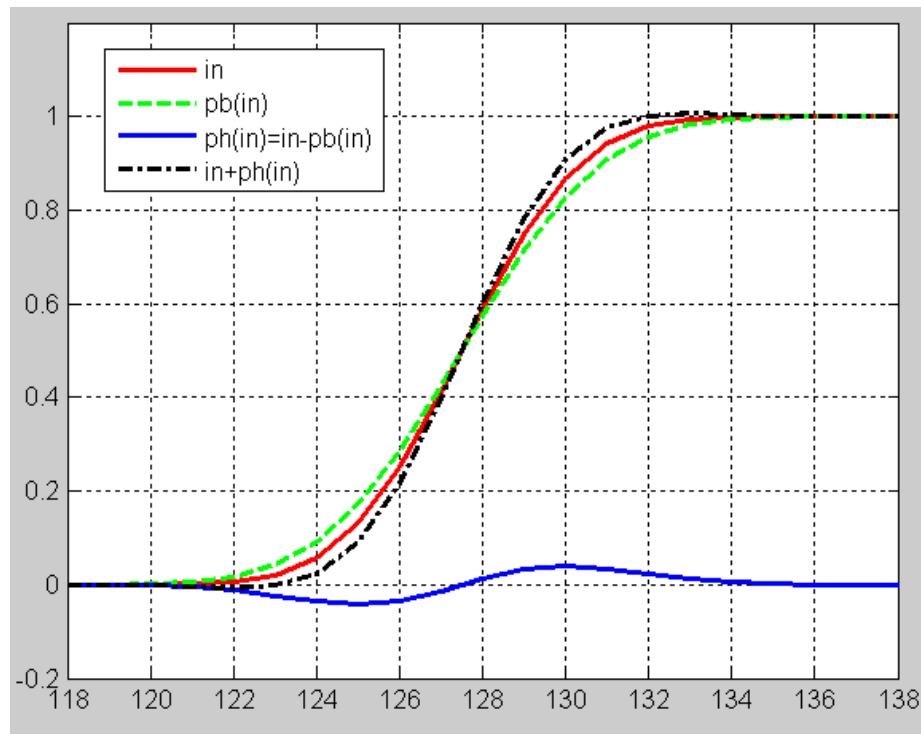
VIII.4 Rehaussement de contraste

- 1^{ère} approche par différence sur un filtrage Passe-Bas
 - ❖ Rappel : filtre de lissage = filtre Passe Bas = atténuation des contours
 - ❖ Soustraction : $\text{Image} - \text{Passe-Bas}(\text{Image}) = \text{Information des contours}$
 - ❖ Addition : $\text{Image} + \alpha.(\text{Image} - \text{Passe-Bas}(\text{Image})) = \text{Rehaussement des contours}$
 - ❖ Caractéristiques du filtre :
 - Paramètre α à ajuster
 - Sensibilité aux bruits (par construction du filtre)
 - α fort : risque de dépassement
 - Niveaux de gris en sortie : à recalculer entre 0 et 255

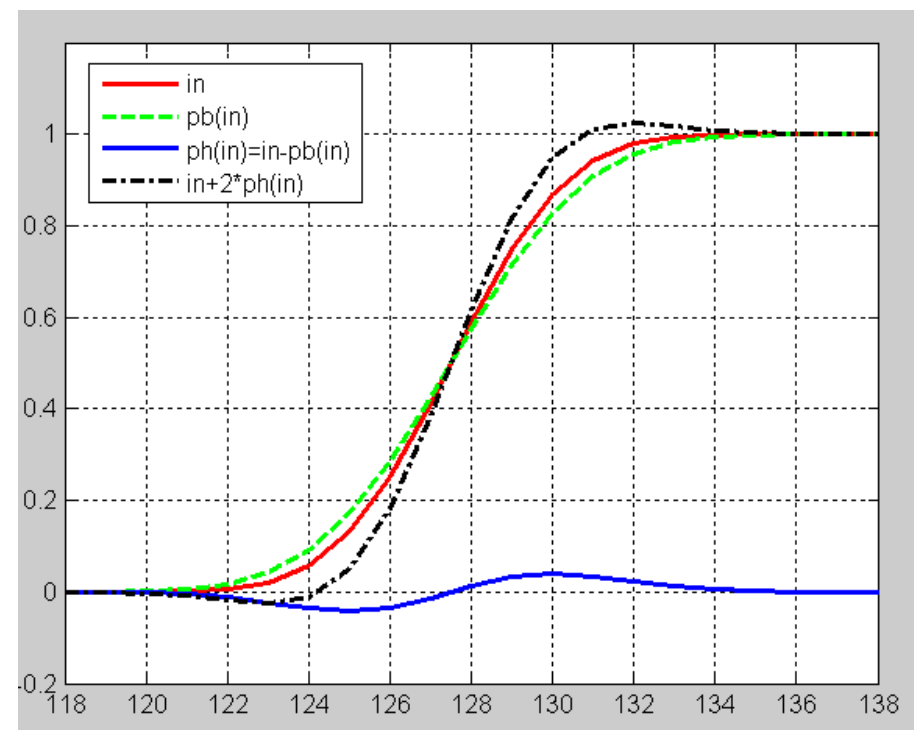
VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

- 1^{ère} approche par différence sur un filtrage Passe-Bas
 - ❖ Addition : $\text{Image} + \alpha \cdot (\text{Image} - \text{Passe_Bas}(\text{Image})) =$
Rehaussement des contours



$\alpha = 1$



$\alpha = 2$

VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

- 1^{ère} approche par différence sur un filtrage Passe-Bas
 - ❖ $\text{Image_out} = \text{Image_in} + \alpha.(\text{Image_in} - \text{Passe_Bas}(\text{Image_in}))$
 - ❖ $\text{Image_out} = (1+\alpha).\text{Image_in} - \alpha.\text{Passe_Bas}(\text{Image_in})$
 - ❖ $I_s[i,j] = K_R \otimes I_e[i,j]$

$K_R = (1+\alpha).d - \alpha.K_{PB}$ avec d le noyau « impulsionnel »

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$d[0,0]=1$, $d[m,n]=0$ sinon $d = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ pour un noyau 3×3

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

□ Exemples

- ❖ K_{PB} = filtre moyenne et $\alpha=9$
- ❖ Soit k_+ la somme des coefs >0 , k_- la « || » de la somme des coefs <0
 - On a $k_+ > k_-$
 - Effet plus marqué si $k_+ - k_-$ plus faible

$$K_{PB} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad K_R = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

□ 2^{ème} approche

- ❖ Laplacien d'une image : dérivée seconde, notation $\Delta(\text{image})$

$$\Delta f(x, y) = \nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

- ❖ Sortie : Image – α . Laplacien

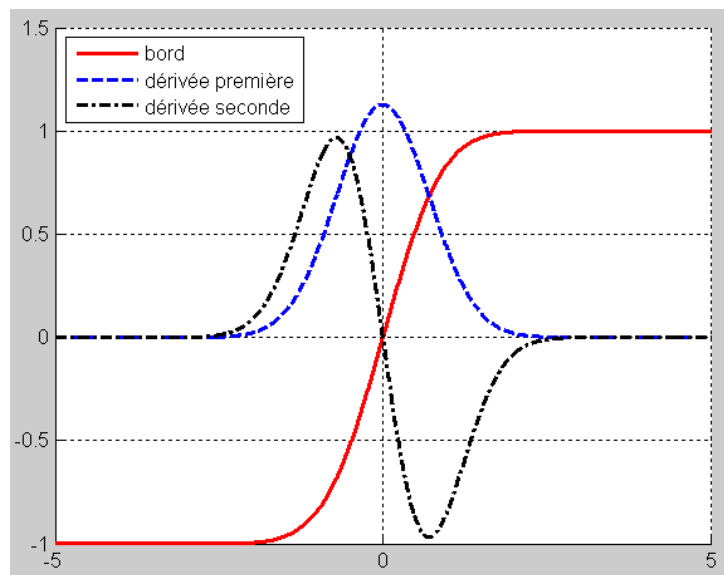


Illustration 1D , $f(x)=\text{bord}$; $f'(x)$; $f''(x)$

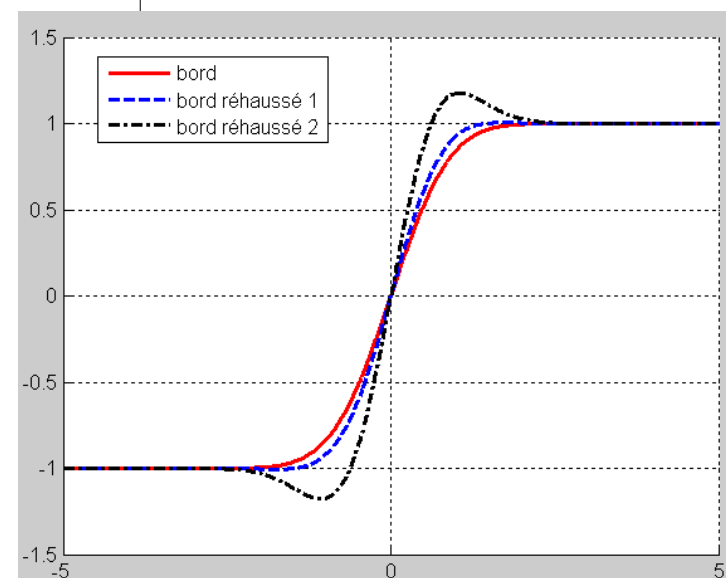


Illustration 1D , Principe du rehaussement
 $\text{out}(x) = \text{bord} - \alpha \cdot \Delta(\text{bord})$; out1 : $\alpha=1/10$; $\alpha=4/10$
GINF41A6 - AGD

VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

□ Autre approche : Laplacien d'une image

- ❖ Construction du noyau de convolution du Laplacien
- ❖ A partir du noyau de convolution de la dérivée première symétrique

- Dérivée première en colonne à appliquer 2 fois :

- ✓ $I_{d1}[i,j] = I[i+1/2,j] - I[i-1/2,j]$

- Dérivée seconde en colonne

- ✓ $I_{d2}[i,j] = I_{d1}[i+1/2,j] - I_{d1}[i-1/2,j] = I[i+1,j] - 2.I[i,j] + I[i-1,j]$

- ❖ D'où le noyau 2D en sommant les noyaux « ligne » et « colonne » :

- Laplacien : Passe Haut

- $k_+ = k_-$
$$K_L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K_L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ou bien, en rajoutant les 2 dérivées diagonales

$$K_L = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & -12 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

ou bien, en rajoutant un lissage binomial

VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

- Autre approche : Laplacien d'une image

Image originale



Image rehaussée = Image - α · Laplacien

Laplacien



Image rehaussée $\alpha=1/10$

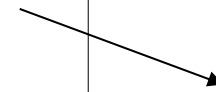


VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

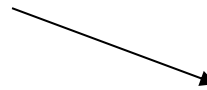
□ Exemples de Masques « Rehausseur »

❖ $\alpha=1/10$ et $K_L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$



$$K_R = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 18 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} / 10$$

❖ $\alpha=1/10$ et $K_L = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & -12 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

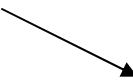


$$K_R = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 22 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} / 10$$

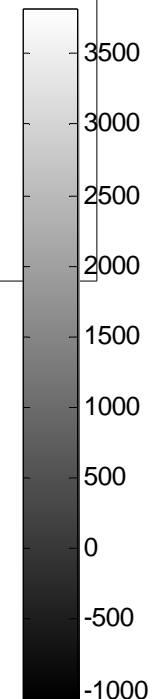
VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

- Exemples de Masques « Rehausseur »
 - ❖ Attention ensuite à recalculer les niveaux de gris en sortie

$$K_R = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 18 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$


$$K_R = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 22 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$



VIII. Filtrage

VIII.4 Rehaussement de contraste

- Exemples de Masques « Rehausseur »
 - ❖ Attention ensuite à recalcr les niveaux de gris en sortie
 - Recaler Moyenne, Dynamique (min ; max) selon une loi linéaire

