

## VIII. Filtrage

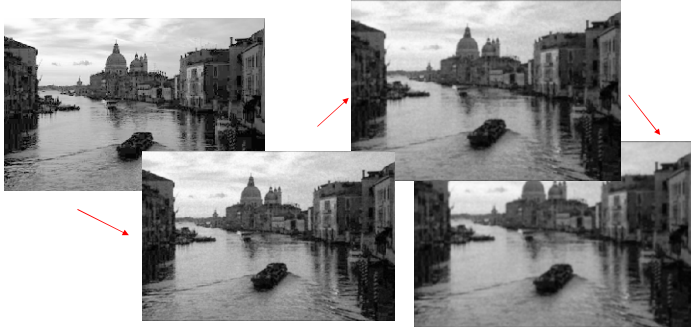
- Manipulation des niveaux (de gris) des pixels en fonction de leur voisinage
  - ❖ Filtrage linéaire = convolution spatiale
  - ❖ Filtrage non linéaire
- Quel filtrage ?, pour faire quoi ?
  - ❖ Filtrage « Passe Bas »
    - Réduction, Élimination des hautes fréquences spatiales : détails, bruit
    - 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)

GINF41A6 - AGD 1

## VIII. Filtrage

### VIII.1 Exemples

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

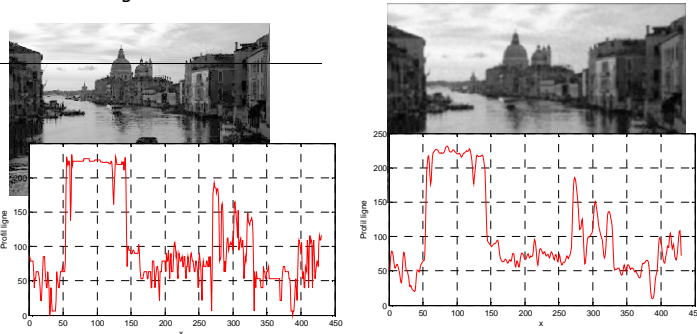


GINF41A6 - AGD 2

## VIII. Filtrage

### VIII.1 Exemples

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



GINF41A6 - AGD 3

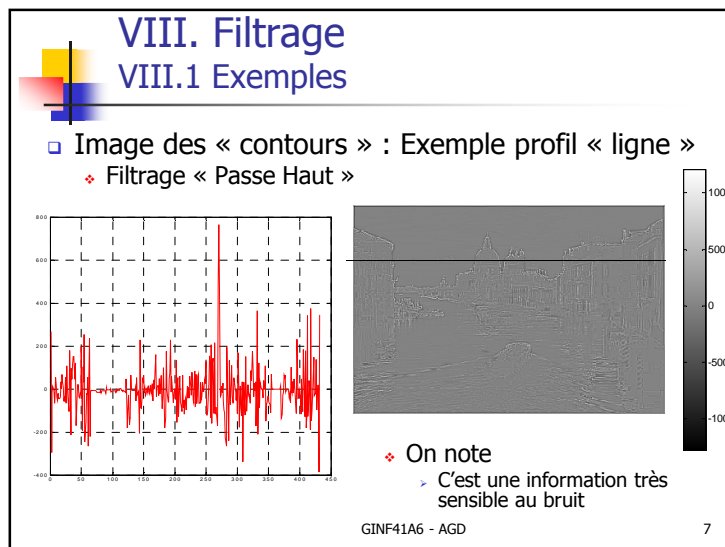
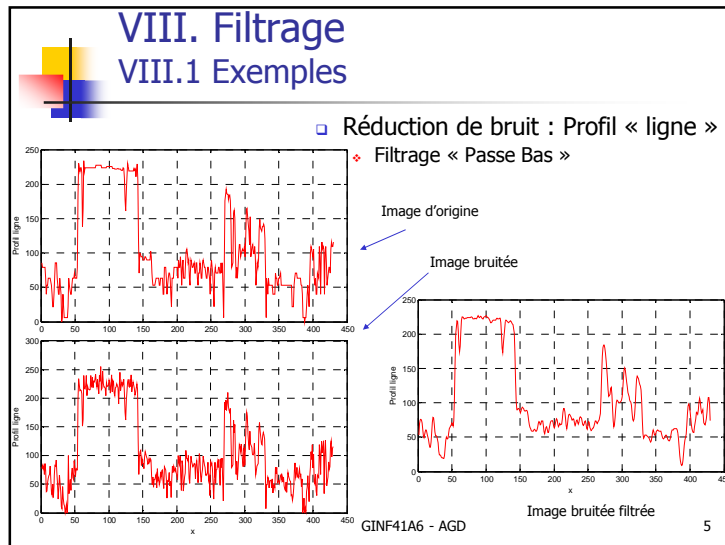
## VIII. Filtrage

### VIII.1 Exemples

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



GINF41A6 - AGD 4



## 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 « Moyeneur »
    - $I_s[i,j]$  = moyenne avec ses 8 plus proches voisins

$$I_e \rightarrow \text{Noyau K} \rightarrow I_s \quad K = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

GINF41A6 - AGD

9

## VIII. Filtrage

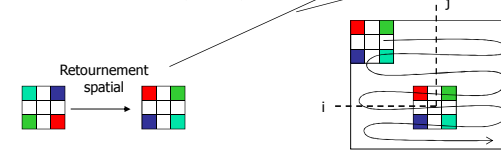
### VIII.2 Technique de Filtrage Linéaire

- 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



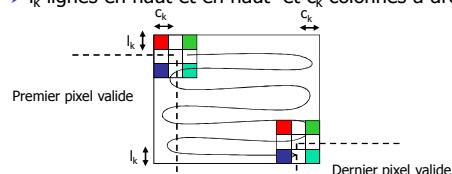
GINF41A6 - AGD

10

## 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



GINF41A6 - AGD

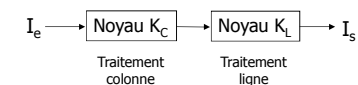
11

## 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

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



GINF41A6 - AGD

12

## 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
  - ❖ ...

GINF41A6 - AGD

13

## 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 impulsionnel
    - 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 »

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

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

GINF41A6 - AGD

14

## 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%

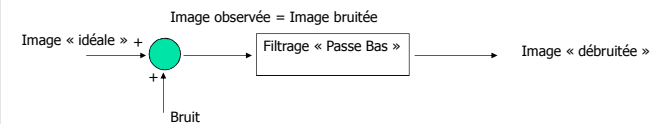
GINF41A6 - AGD

15

## VIII. Filtrage

### VIII.3 Réduction de Bruit

- Filtres linéaires de lissage
  - ❖ Bien adaptés pour les bruit additifs impulsionnels
  - ❖ Image observée : Image\_Bruit = (Image + Bruit)
  - ❖ Image\_Débruitée : Filtrage(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



GINF41A6 - AGD

16

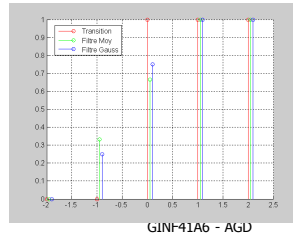
## VIII. Filtrage

### 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

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



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

17

## VIII. Filtrage

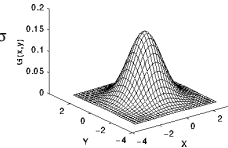
### VIII.3 Réduction de Bruit

#### □ Filtres linéaires de lissage

- ❖ Filtre gaussien
  - Fct Gauss. de moyenne nulle et d'écart-type  $\sigma$

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

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



#### ❖ Filtres binomiaux

- Filtres approximant les filtres gaussiens de variance entière

Coefficients	Niveau	Somme	$\sigma^2$	$\sigma$
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 1	8	256	2	$\sqrt{2}$

$$\begin{matrix} \text{Somme} = 2^n \\ \sigma^2 = n/4 \end{matrix}$$

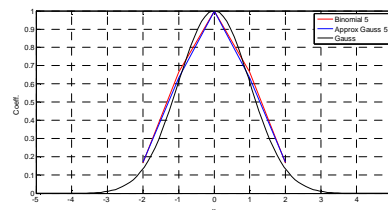
18

## 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 ]

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

GINF41A6 - AGD

19

## VIII. Filtrage

### VIII.3 Réduction de Bruit

#### □ Exemple

- ❖ Filtrage « Passe Bas » Moyenne vs Gauss



Image bruitée



Après Filtre Binomial 5x5



Après Filtre Moyenne 5x5

GINF41A6 - AGD

20

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

GINF41A6 - AGD

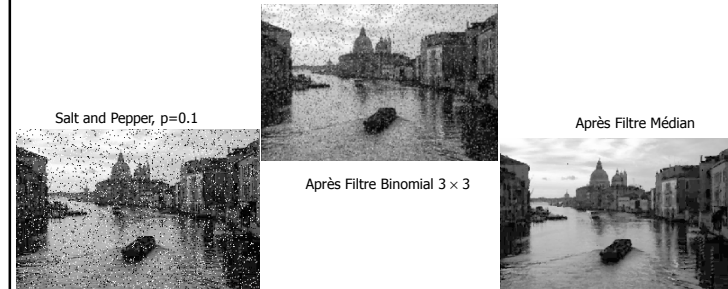
21

## VIII. Filtrage

### VIII.3 Réduction de Bruit

#### □ Filtrage non linéaire

- ❖ Exemple : Filtre Médian vs Filtre Gauss



GINF41A6 - AGD

22

## VIII. Filtrage

### VIII.4 Rehaussement de contraste

#### □ 1<sup>ère</sup> 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 :  $\text{Image} + \alpha \cdot (\text{Image} - \text{Passe-Bas}(\text{Image})) = \text{Rehaussement des contours}$
- ❖ Caractéristiques du filtre :
  - Paramètre  $\alpha$  à ajuster
  - Sensibilité aux bruits (par construction du filtre)
  - $\alpha$  fort : risque de dépassement
  - Niveaux de gris en sortie : à recalcr entre 0 et 255

GINF41A6 - AGD

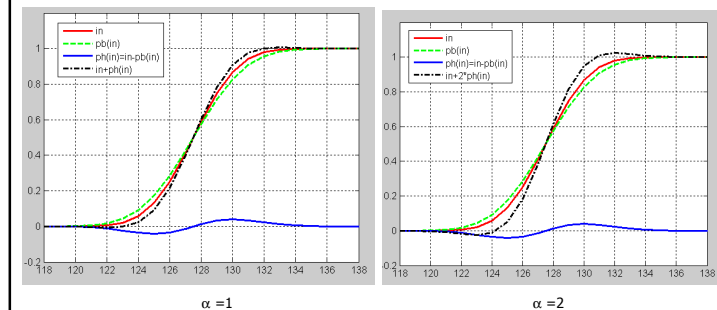
23

## VIII. Filtrage

### VIII.4 Rehaussement de contraste

#### □ 1<sup>ère</sup> approche par différence sur un filtrage Passe-Bas

- ❖ Addition :  $\text{Image} + \alpha \cdot (\text{Image} - \text{Passe-Bas}(\text{Image})) = \text{Rehaussement des contours}$



GINF41A6 - AGD

24

## VIII. Filtrage

### VIII.4 Rehaussement de contraste

- 1<sup>ère</sup> approche par différence sur un filtrage Passe-Bas
  - Image\_out= Image\_in +  $\alpha$ .(Image\_in – Passe\_Bas(Image\_in))
  - Image\_out= (1+ $\alpha$ ).Image\_in -  $\alpha$ .Passe\_Bas(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 « impulsif »

$d[0,0]=1$ ,  $d[m,n]=0$  sinon  $d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$  pour un noyau 3x3

#### Exemples

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

GINF41A6 - AGD

25

## VIII. Filtrage

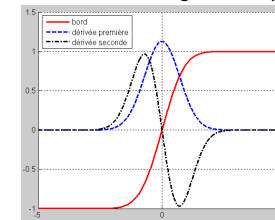
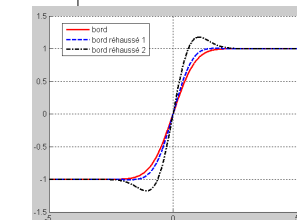
### VIII.4 Rehaussement de contraste

#### 2<sup>ème</sup> 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 –  $\alpha$ . Laplacien

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

26

## 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

- $k_+ = k_-$

$$K_L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad K_L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad K_L = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & -12 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

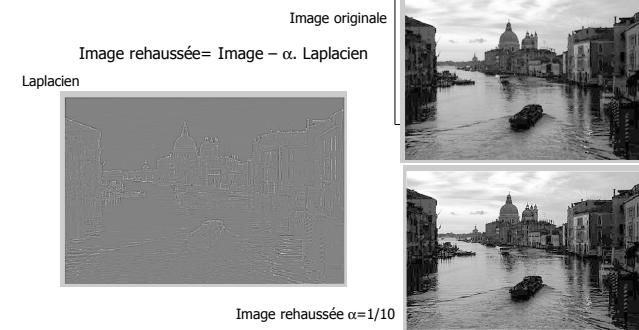
ou bien, en rajoutant les 2 dérivées diagonales

27

## VIII. Filtrage

### VIII.4 Rehaussement de contraste

#### Autre approche : Laplacien d'une image



GINF41A6 - AGD

28



## VIII. Filtrage

### VIII.4 Rehaussement de contraste

- Exemples de Masques « Rehausseur »
  - $\alpha=1/10$  et  $K_L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ 
 $\rightarrow K_R = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 18 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} / 10$
  - $\alpha=1/10$  et  $K_L = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & -12 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ 
 $\rightarrow K_R = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 22 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} / 10$

GINF41A6 - AGD 29


## VIII. Filtrage

### VIII.4 Rehaussement de contraste

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

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

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



GINF41A6 - AGD 30

## 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



GINF41A6 - AGD 31