

## Partie C — thème 4

### Atténuation et accentuation de détails



- ▶ flous et lissages, rehaussements
- ▶ convolutions, filtrages fréquentiel, filtrages morphologiques
- ▶ traitements marginaux

# 1. Lissage d'image

## 1.1. Approche fréquentielle ou spatiale

- ▶ approche fréquentielle : passe-bas (filtres idéal, gaussien et de Butterworth : B-2)
  - ▶ *précision* de la fréquence de coupure
- ▶ approche spatiale
  - ▶ contrôle *géométrique* du lissage (convolution restreinte à un sous-domaine)
  - ▶ traitements *adaptatif*
  - ▶ traitements directionnels : *effets de bougé par translation, rotation, zoom*



# 1. Lissage d'image

## 1.1. Approche fréquentielle ou spatiale

- ▶ approche fréquentielle : passe-bas (filtres idéal, gaussien et de Butterworth : B-2)
  - ▶ *précision* de la fréquence de coupure
- ▶ approche spatiale
  - ▶ contrôle *géométrique* du lissage (convolution restreinte à un sous-domaine)
  - ▶ traitements *adaptatif*
  - ▶ traitements directionnels : *effets de bougé* par translation, rotation, zoom



## 1.2. Lissage spatial gaussien

### o Rappels

- ▶ qualité du filtrage
- ▶ simplicité et efficacité de mise en œuvre
  - ▶ séparable :  $(G_\sigma * f)(x, y) = G'_\sigma *_x (G'_\sigma *_y f(x, y))$
  - ▶ rayon du noyau : de l'ordre de  $3 \times \sigma$
  - ▶ fréquence de coupure :  $1.178\sigma$

### o Composition de convolutions 1D

- ▶ discrétisation du noyau 1D :  $G_\sigma(x) = K \times e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$  entre  $-3\sigma$  et  $3\sigma$
- ▶ choisir  $K$  pour que la somme des coefficients vaille 1 ( $\sim \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ )

$\sigma = 0.3$	0.004	0.992	0.004					
$\sigma = 0.6$	0.003	0.165	0.664	0.165	0.003			
$\sigma = 1$	0.004	0.055	0.242	0.398	0.242	0.055	0.004	
$\sigma = 1.5$	0.001	0.008	0.036	0.109	0.213	0.266	0.213	...

- ▶ possibilité de mise en œuvre récursive (voir Annexe A)



## 1.2. Lissage spatial gaussien

### o Rappels

- ▶ **qualité** du filtrage
- ▶ **simplicité** et efficacité de mise en œuvre
  - ▶ *séparable* :  $(G_\sigma * f)(x, y) = G'_\sigma *_x (G'_\sigma *_y f(x, y))$
  - ▶ *rayon du noyau* : de l'ordre de  $3 \times \sigma$
  - ▶ *fréquence de coupure* :  $1.178\sigma$

### o Composition de convolutions 1D

- ▶ **discrétisation** du noyau 1D :  $G_\sigma(x) = K \times e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$  entre  $-3\sigma$  et  $3\sigma$
- ▶ choisir  $K$  pour que la somme des coefficients vaille 1 ( $\sim \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ )

$\sigma = 0.3$	0.004	0.992	0.004					
$\sigma = 0.6$	0.003	0.165	0.664	0.165	0.003			
$\sigma = 1$	0.004	0.055	0.242	0.398	0.242	0.055	0.004	
$\sigma = 1.5$	0.001	0.008	0.036	0.109	0.213	0.266	0.213	...

- ▶ possibilité de mise en œuvre récursive (voir Annexe A)

## 1.2. Lissage spatial gaussien

### ○ Rappels

- ▶ **qualité** du filtrage
- ▶ **simplicité** et efficacité de mise en œuvre
  - ▶ *séparable* :  $(G_\sigma * f)(x, y) = G'_\sigma *_x (G'_\sigma *_y f(x, y))$
  - ▶ *rayon du noyau* : de l'ordre de  $3 \times \sigma$
  - ▶ *fréquence de coupure* :  $1.178\sigma$

### ○ Composition de convolutions 1D

- ▶ **discrétisation** du noyau 1D :  $G_\sigma(x) = K \times e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$  entre  $-3\sigma$  et  $3\sigma$
- ▶ choisir  $K$  pour que la somme des coefficients vaille 1 ( $\sim \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ )

$\sigma = 0.3$	0.004	0.992	0.004					
$\sigma = 0.6$	0.003	0.165	0.664	0.165	0.003			
$\sigma = 1$	0.004	0.055	0.242	0.398	0.242	0.055	0.004	
$\sigma = 1.5$	0.001	0.008	0.036	0.109	0.213	0.266	0.213	...

- ▶ possibilité de mise en œuvre récursive (voir Annexe A)

- ▶ exemples de lissages :



$$\sigma = 0$$

- ▶ exemples de lissages :



$$\sigma = 1.5$$

- ▶ exemples de lissages :



$$\sigma = 5$$

▶ exemples de lissages :



$\sigma = 20$

### 1.3. Lissage spatial adaptatif

- ▶ paramétrage du filtrage en fonction du voisinage de chaque point
- ▶ permet de limiter l'effet du lissage relativement à un critère
- ▶ exemple : préservation des contours
  - ▶ *calcul de la moyenne sur un voisinage :*

$$\mu(V(P)) = \frac{1}{|V(P)|} \sum_{i,j \in V(P)} I(i,j)$$

- ▶ *lissage des points qui ne sont pas trop distants de la moyenne (voir Activité 5) :*

$$I'(P) = \begin{cases} \mu(V(P)) & \text{si } |I(P) - \mu(V(P))| < T \\ I(P) & \text{sinon} \end{cases}$$

## 2. Rehaussement des détails

- **Principe : privilégier les hautes fréquences**

- ▶ soustraction de basses fréquence
- ▶ addition de hautes fréquences
- ▶ combinaison des deux

- **Approche marginale**

- ▶ possible d'effectuer le rehaussement sur chaque canal (R, G et B)
- ▶ pertinent d'utiliser un canal achromatique



## 2.1. Soustraction d'une proportion de l'image lissée

- ▶ transformation de Jarvis et al. (années 70)

$$I'(P) = \frac{I(P) - \alpha \bar{I}(P)}{1 - \alpha}$$

- ▶ avec  $0 \leq \alpha < 1$  (souvent exprimé entre 0% et 99%) et  $\bar{I}$  : moyenne avec les 8 voisins



$\alpha = 0$



$\alpha = 0.6$

## 2.1. Soustraction d'une proportion de l'image lissée

- ▶ transformation de Jarvis et al. (années 70)

$$I'(P) = \frac{I(P) - \alpha \bar{I}(P)}{1 - \alpha}$$

- ▶ avec  $0 \leq \alpha < 1$  (souvent exprimé entre 0% et 99%) et  $\bar{I}$  : moyenne avec les 8 voisins



$\alpha = 0$



$\alpha = 0.9$

## 2.2. Ajout du laplacien

► ajout d'une proportion du laplacien :  $I' = I + k \times \Delta I$

convolution de noyau :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + k \times \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -k & 0 \\ -k & 4k+1 & -k \\ 0 & -k & 0 \end{bmatrix}$$



$I$



$\Delta I$

## 2.2. Ajout du laplacien

► ajout d'une proportion du laplacien :  $I' = I + k \times \Delta I$

convolution de noyau :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + k \times \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -k & 0 \\ -k & 4k+1 & -k \\ 0 & -k & 0 \end{bmatrix}$$



$I$



$I + \Delta I$

## 2.2. Ajout du laplacien

► ajout d'une proportion du laplacien :  $I' = I + k \times \Delta I$

convolution de noyau :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + k \times \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -k & 0 \\ -k & 4k+1 & -k \\ 0 & -k & 0 \end{bmatrix}$$



$I$



$I + 2 \times \Delta I$

- ▶ exemple en 1D avec  $K = 1$  (laplacien :  $\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$ )

	-1	2	-1											
	1	1	1	2	2	2	3	4	5	5	5	8	8	8
+	0	0	-1	1	0	-1	0	0	1	0	-3	3	0	0
	1	1	0	3	2	1	3	4	6	5	2	11	8	8

- ▶ l'ajout du laplacien crée un « écho » autour du contour

- ▶ exemple en 1D avec  $K = 1$  (laplacien :  $\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$ )

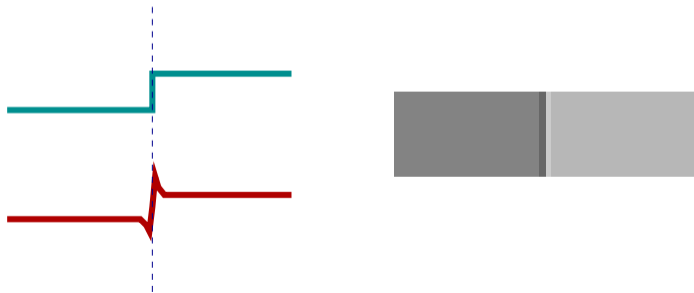
		-1	2	-1										
	1	1	1	2	2	2	3	4	5	5	5	8	8	8
+	0	0	-1	1	0	-1	0	0	1	0	-3	3	0	0
	1	1	0	3	2	1	3	4	6	5	2	11	8	8

- ▶ l'ajout du laplacien crée un « écho » autour du contour

- ▶ exemple en 1D avec  $K = 1$  (laplacien :  $\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$ )

			-1	2	-1									
	1	1	1	2	2	2	3	4	5	5	5	8	8	8
+	0	0	-1	1	0	-1	0	0	1	0	-3	3	0	0
	1	1	0	3	2	1	3	4	6	5	2	11	8	8

- ▶ l'ajout du laplacien crée un « écho » autour du contour

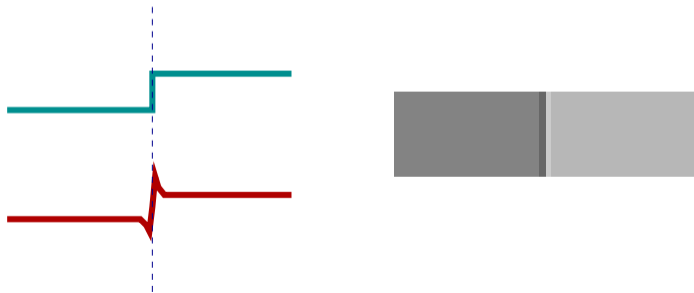




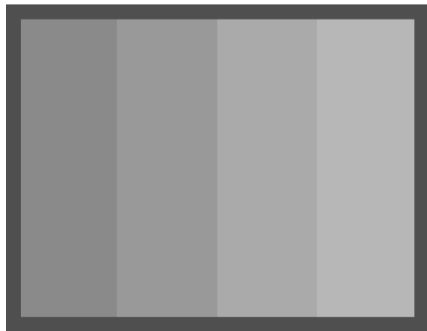
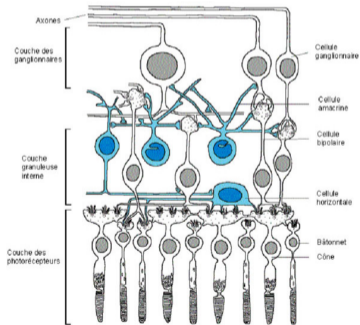
- ▶ exemple en 1D avec  $K = 1$  (laplacien :  $\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$ )

	1	1	1	2	2	2	3	4	5	5	5	8	8	8
+	0	0	-1	1	0	-1	0	0	1	0	-3	3	0	0
	1	1	0	3	2	1	3	4	6	5	2	11	8	8

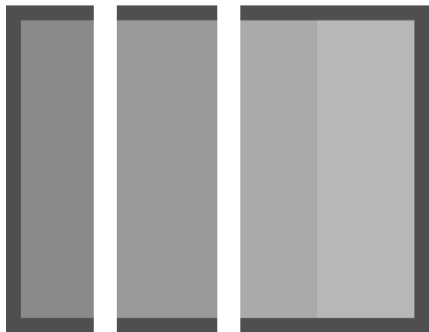
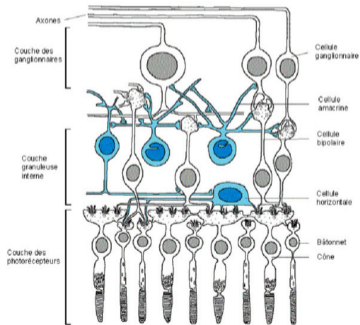
- ▶ l'ajout du laplacien crée un « écho » autour du contour



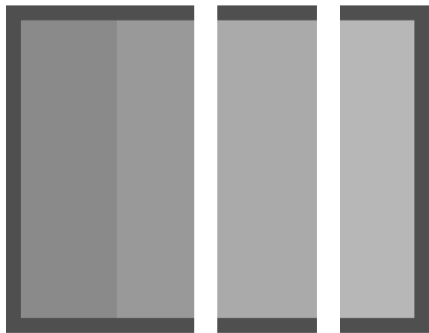
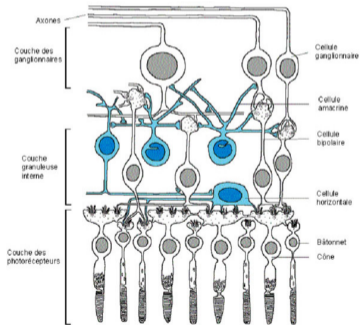
- ▶ traitement présent dans le système de vision humain
  - ▶ phénomène d'inhibition latérale
  - ▶ cellules horizontales
- ▶ proche d'un laplacien de gaussienne : LOG
  - ▶ Ernst Mach [1865] (phénomène des bandes de Mach)
  - ▶ David Marr et Ellen Hildreth [1980]



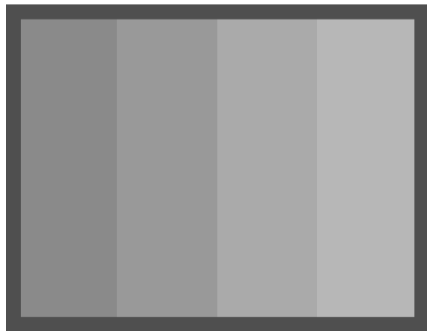
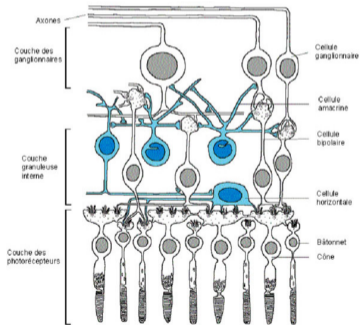
- ▶ traitement présent dans le système de vision humain
  - ▶ phénomène d'inhibition latérale
  - ▶ cellules horizontales
- ▶ proche d'un laplacien de gaussienne : LOG
  - ▶ Ernst Mach [1865] (phénomène des bandes de Mach)
  - ▶ David Marr et Ellen Hildreth [1980]



- ▶ traitement présent dans le système de vision humain
  - ▶ phénomène d'inhibition latérale
  - ▶ cellules horizontales
- ▶ proche d'un laplacien de gaussienne : LOG
  - ▶ Ernst Mach [1865] (phénomène des bandes de Mach)
  - ▶ David Marr et Ellen Hildreth [1980]

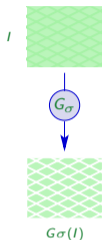


- ▶ traitement présent dans le système de vision humain
  - ▶ phénomène d'inhibition latérale
  - ▶ cellules horizontales
- ▶ proche d'un laplacien de gaussienne : LOG
  - ▶ Ernst Mach [1865] (phénomène des bandes de Mach)
  - ▶ David Marr et Ellen Hildreth [1980]



## 2.3. Masque de flou (unsharp)

- ▶ combinaison des deux approches précédentes

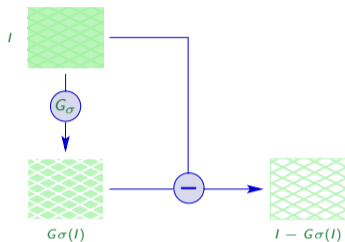


- $I$  : image à rehausser
- $G_{\sigma}(I)$  : basses fréquences de  $I$
- $I - G_{\sigma}(I)$  : hautes fréquences de  $I$
- $I + k(I - G_{\sigma}(I))$  : rehaussement des hautes fréquences de  $I$

- ▶ double paramétrage :  $\begin{cases} \sigma & : \text{sélection des fréquences} \\ k & : \text{proportion de HF ajoutées} \end{cases}$

## 2.3. Masque de flou (unsharp)

- ▶ combinaison des deux approches précédentes

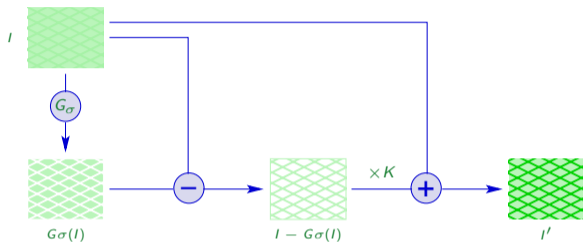


- $I$  : image à rehausser
- $G_\sigma(I)$  : basses fréquences de  $I$
- $I - G_\sigma(I)$  : hautes fréquences de  $I$
- $I + k(I - G_\sigma(I))$  : rehaussement des hautes fréquences de  $I$

- ▶ double paramétrage :  $\begin{cases} \sigma & : \text{sélection des fréquences} \\ k & : \text{proportion de HF ajoutées} \end{cases}$

## 2.3. Masque de flou (unsharp)

- combinaison des deux approches précédentes



- $I$  : image à rehausser
- $G_\sigma(I)$  : basses fréquences de  $I$
- $I - G_\sigma(I)$  : hautes fréquences de  $I$
- $I + k(I - G_\sigma(I))$  : rehaussement des hautes fréquences de  $I$

- double paramétrage :  $\begin{cases} \sigma & : \text{sélection des fréquences} \\ k & : \text{proportion de HF ajoutées} \end{cases}$



- ▶ exemples pour  $\sigma = 2$ , avec  $K = 0.6$  puis  $K = 1$



|

- ▶ exemples pour  $\sigma = 2$ , avec  $K = 0.6$  puis  $K = 1$



$G_2(I)$

- exemples pour  $\sigma = 2$ , avec  $K = 0.6$  puis  $K = 1$



$$I - G_2(I)$$

- ▶ exemples pour  $\sigma = 2$ , avec  $K = 0.6$  puis  $K = 1$



|

- ▶ exemples pour  $\sigma = 2$ , avec  $K = 0.6$  puis  $K = 1$



$$I + 0.6 \times (I - G_2(I))$$



- ▶ exemples pour  $\sigma = 2$ , avec  $K = 0.6$  puis  $K = 1$



$$I + 1 \times (I - G_2(I))$$

- ▶ comparaison de l'ajout du Laplacien et du masque de flou



$I$



$I + \Delta I$



$\sigma = 2$  —  $K = 0.5$

- ▶ comparaison de l'ajout du Laplacien et du masque de flou



$I$



$I + \Delta I$



$\sigma = 2$  —  $K = 1.5$



- ▶ comparaison de l'ajout du Laplacien et du masque de flou



$I$



$I + \Delta I$



$\sigma = 10$  —  $K = 0.5$

## 2.4. Filtrage fréquentiel : filtrage homomorphique

- Combinaison d'un filtrage fréquentiel et d'une correction logarithmique

- ▶ basé sur une **modélisation** de la fonction image

$$I(i, j) = S(i, j) \times R(i, j)$$

$S(i, j)$  : **source lumineuse**, limité aux **basses fréquences**

$R(i, j)$  : fonction de **réflectance** riche en **hautes fréquences** (bords, textures)

- ▶ la correction logarithmique permet de **séparer** les représentations fréquentielles des deux composantes :

$$\begin{aligned} J &= \log(I) \\ &= \log(S \times R) \\ &= \log(S) + \log(R) \end{aligned}$$

$$\mathcal{F}(J) = \mathcal{F}(\log S) + \mathcal{F}(\log R)$$

(linéarité de la transformée de Fourier)

## 2.4. Filtrage fréquentiel : filtrage homomorphique

- Combinaison d'un filtrage fréquentiel et d'une correction logarithmique

- ▶ basé sur une **modélisation** de la fonction image

$$I(i, j) = S(i, j) \times R(i, j)$$

$S(i, j)$  : **source lumineuse**, limité aux **basses fréquences**

$R(i, j)$  : fonction de **réflectance** riche en **hautes fréquences** (bords, textures)

- ▶ la correction logarithmique permet de **séparer** les représentations fréquentielles des deux composantes :

$$\begin{aligned} J &= \log(I) \\ &= \log(S \times R) \\ &= \log(S) + \log(R) \end{aligned}$$

$$\mathcal{F}(J) = \mathcal{F}(\log S) + \mathcal{F}(\log R)$$

(linéarité de la transformée de Fourier)

## 2.4. Filtrage fréquentiel : filtrage homomorphique

- Combinaison d'un filtrage fréquentiel et d'une correction logarithmique

- ▶ basé sur une **modélisation** de la fonction image

$$I(i, j) = S(i, j) \times R(i, j)$$

$S(i, j)$  : **source lumineuse**, limité aux **basses fréquences**

$R(i, j)$  : fonction de **réflectance** riche en **hautes fréquences** (bords, textures)

- ▶ la correction logarithmique permet de **séparer** les représentations fréquentielles des deux composantes :

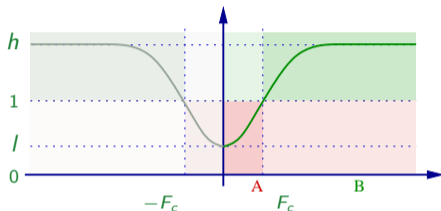
$$\begin{aligned} J &= \log(I) \\ &= \log(S \times R) \\ &= \log(S) + \log(R) \end{aligned}$$

$$\mathcal{F}(J) = \mathcal{F}(\log S) + \mathcal{F}(\log R)$$

(linéarité de la transformée de Fourier)

○ **Traitement fréquentiel basses fréquences / hautes fréquence**

- ▶ augmenter les hautes fréquences et diminuer les basses fréquences autour d'une fréquence de coupure  $F_c$
- ▶ filtrage fréquentiel de  $J$  par un filtre  $H$  de la forme



avec  $h > 1$  et  $l < 1$

$$H \times \mathcal{F}(J) = H \times \mathcal{F}(\log S) + H \times \mathcal{F}(\log R)$$

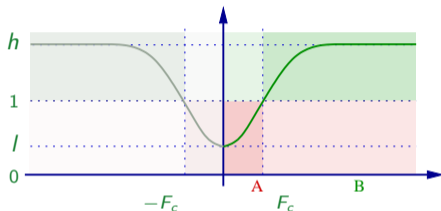
- ▶ exemple de filtre dérivé du gaussien passe bas

$$H_{l,h,D_0,n}(u) = (h - l) (1 - H'_{D_0,K}(u)) + l \quad \text{avec} \quad H'_{D_0,K}(u) = e^{-K \frac{u^2}{2D_0^2}}$$

où  $D_0$  contrôle la fréquence de coupure et  $K$  la pente (bande de coupure)

○ Traitement fréquentiel basses fréquences / hautes fréquence

- ▶ augmenter les hautes fréquences et diminuer les basses fréquences autour d'une fréquence de coupure  $F_c$
- ▶ filtrage fréquentiel de  $J$  par un filtre  $H$  de la forme



avec  $h > 1$  et  $l < 1$

$$H \times \mathcal{F}(J) = H \times \mathcal{F}(\log S) + H \times \mathcal{F}(\log R)$$

- ▶ exemple de filtre dérivé du gaussien passe bas

$$H_{l,h,D_0,n}(u) = (h - l) (1 - H'_{D_0,K}(u)) + l \quad \text{avec} \quad H'_{D_0,K}(u) = e^{-K \frac{u^2}{2D_0^2}}$$

où  $D_0$  contrôle la fréquence de coupure et  $K$  la pente (bande de coupure)

○ Filtrage combinant deux effets :

▶ rehaussement des détails

▶ *accentuation des hautes fréquences*

▶ *accentuation de la composante réflectance (contours, textures)*

▶ rehaussement de dynamique

▶ *atténuation des basses fréquences*

▶ *atténuation de la composante illumination (variations d'éclairage)*





$I_1$



$I_2$  : correction en loi de puissance de  $I_1$  ( $\gamma = 3$ )



$I_3$  : filtrage homomorphique de  $I_1$  ( $l = 0.45$ ,  $h = 1.5$ ,  $D_0 = 250$ ,  $K = 3$ )



$I_4$  : correction en loi de puissance de  $I_3$  ( $\gamma = 3$ )

### ○ Récapitulatif de l'algorithme

1. transformation logarithmique
2. transformée de Fourier discrète
3. filtrage fréquentiel au moyen de  $H_{l,h,D_0,K}$

4. transformée de Fourier discrète inverse  
(nécessité de renormaliser :  $[min, max] \rightarrow [0, 255]$ )
5. transformation exponentielle  
(+ rehaussement du contraste)



# ★ Rehaussement morphologique

Rappel sur les opérateurs morphologiques :



$I$

$\gamma(I)$  : ouverture

$\varphi(I)$  : fermeture

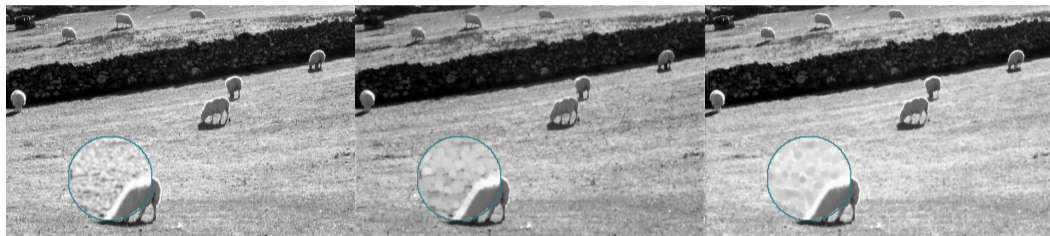
D'après vous, lequel (ou lesquels) de ces traitement produit (produisent) un effet de rehaussement de détail ?

<b>A</b>	$I - \gamma(I)$
<b>B</b>	$\varphi(I) - I$

<b>C</b>	$I + (I - \gamma(I))$
<b>D</b>	$I + (\varphi(I) - I)$
<b>E</b>	$I - (\varphi(I) - I)$

# ★ Rehaussement morphologique

Rappel sur les opérateurs morphologiques :



$I$

$\gamma(I)$  : ouverture

$\varphi(I)$  : fermeture

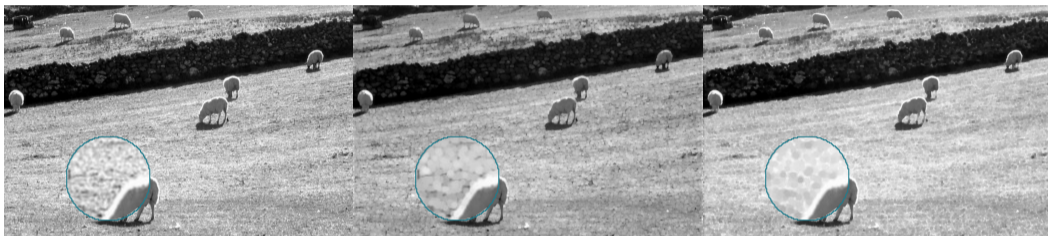
D'après vous, lequel (ou lesquels) de ces traitement produit (produisent) un effet de rehaussement de détail ?

<b>A</b>	$I - \gamma(I)$
<b>B</b>	$\varphi(I) - I$

<b>C</b>	$I + (I - \gamma(I))$
<b>D</b>	$I + (\varphi(I) - I)$
<b>E</b>	$I - (\varphi(I) - I)$

# ★ Rehaussement morphologique

Rappel sur les opérateurs morphologiques :



$I$

$\gamma(I)$  : ouverture

$\varphi(I)$  : fermeture

D'après vous, lequel (ou lesquels) de ces traitement produit (produisent) un effet de rehaussement de détail ?

<b>A</b>	$I - \gamma(I)$
<b>B</b>	$\varphi(I) - I$

<b>C</b>	$I + (I - \gamma(I))$
<b>D</b>	$I + (\varphi(I) - I)$
<b>E</b>	$I - (\varphi(I) - I)$

## 2.5. Rehaussement morphologique de détail

### ○ Utilisation de l'opérateur haut-de-forme

#### ▶ principe : similaire au masque de flou

- ▶ *construction d'une image BF : ouverture ou fermeture avec un élément structurant qui supprime des détails clairs ou sombres*
- ▶ *construction d'une image des détails (par différence)*
- ▶ *combinaison avec l'image initiale*

#### ▶ images de détail :

- ▶ *opérateur haut de forme blanc (ou par ouverture) :*

$$\text{HDF}_B(I) = I - \gamma(I)$$

*le résultat est toujours supérieur ou égale à zéro.*

- ▶ *opérateur haut de forme noir (ou par fermeture) :*

$$\text{HDF}_N(I) = \varphi(I) - I$$

*le résultat est toujours supérieur ou égale à zéro.*

#### ▶ rehaussement des détails :

$$\kappa^{TH}(I) = I + \text{HDF}_B(I) - \text{HDF}_N(I)$$

## 2.5. Rehaussement morphologique de détail

### ○ Utilisation de l'opérateur haut-de-forme

#### ▶ principe : similaire au masque de flou

- ▶ construction d'une image BF : ouverture ou fermeture avec un élément structurant qui supprime des détails clairs ou sombres
- ▶ construction d'une image des détails (par différence)
- ▶ combinaison avec l'image initiale

#### ▶ images de détail :

- ▶ opérateur *haut de forme blanc* (ou par ouverture) :

$$\text{HDF}_B(I) = I - \gamma(I)$$

le résultat est toujours supérieur ou égale à zéro.

- ▶ opérateur *haut de forme noir* (ou par fermeture) :

$$\text{HDF}_N(I) = \varphi(I) - I$$

le résultat est toujours supérieur ou égale à zéro.

#### ▶ rehaussement des détails :

$$\kappa^{TH}(I) = I + \text{HDF}_B(I) - \text{HDF}_N(I)$$

## 2.5. Rehaussement morphologique de détail

### ○ Utilisation de l'opérateur haut-de-forme

#### ▶ principe : similaire au masque de flou

- ▶ construction d'une image BF : ouverture ou fermeture avec un élément structurant qui supprime des détails clairs ou sombres
- ▶ construction d'une image des détails (par différence)
- ▶ combinaison avec l'image initiale

#### ▶ images de détail :

- ▶ opérateur *haut de forme blanc* (ou par ouverture) :

$$\text{HDF}_B(I) = I - \gamma(I)$$

le résultat est toujours supérieur ou égale à zéro.

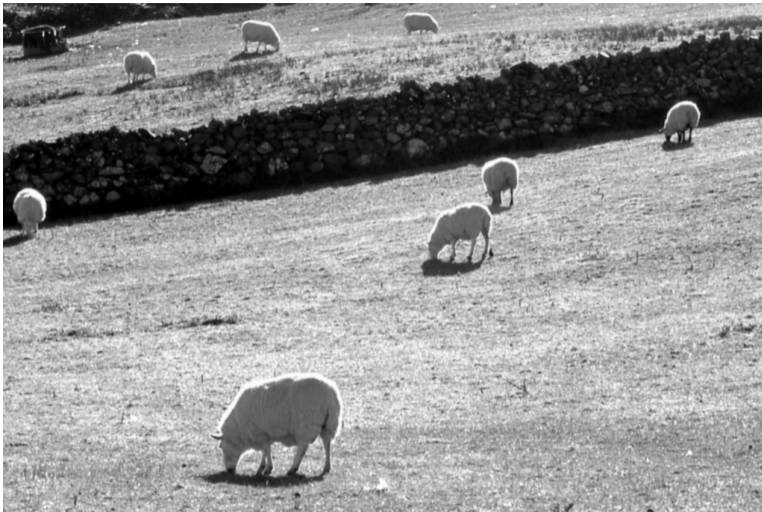
- ▶ opérateur *haut de forme noir* (ou par fermeture) :

$$\text{HDF}_N(I) = \varphi(I) - I$$

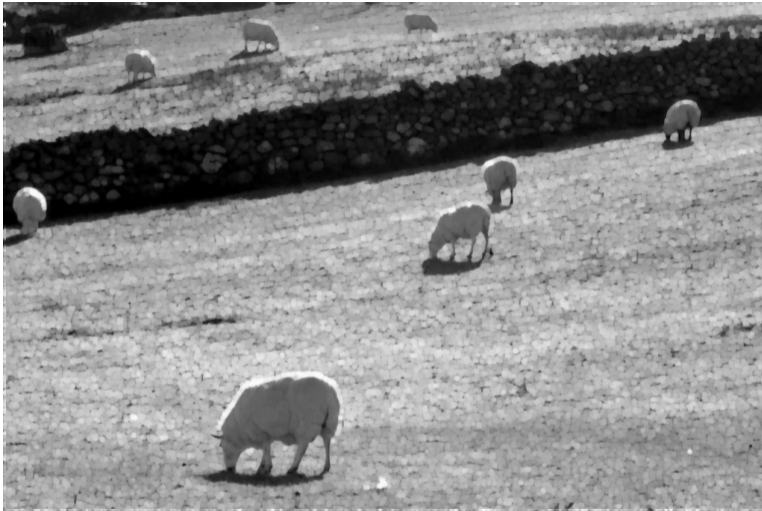
le résultat est toujours supérieur ou égale à zéro.

#### ▶ rehaussement des détails :

$$\kappa^{TH}(I) = I + \text{HDF}_B(I) - \text{HDF}_N(I)$$



|



$\gamma(I)$





$$I - \gamma(I) = \text{HDF}_B(I) \quad (\text{rehaussé})$$



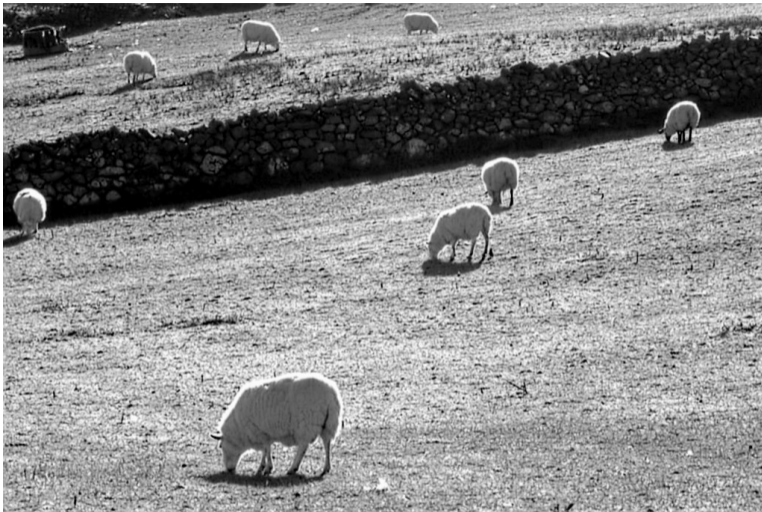
$I + \text{HDF}_B(I)$



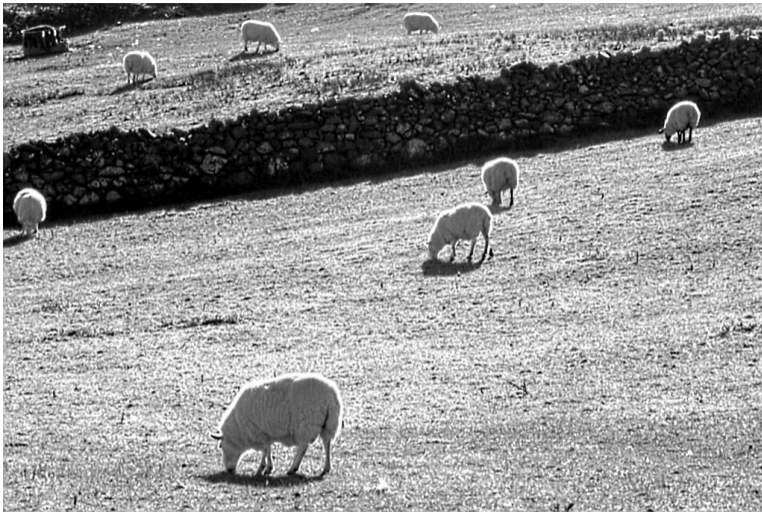
$\varphi(I)$



$$C(\varphi(I) - I) = C(\text{HDF}_N(I))$$

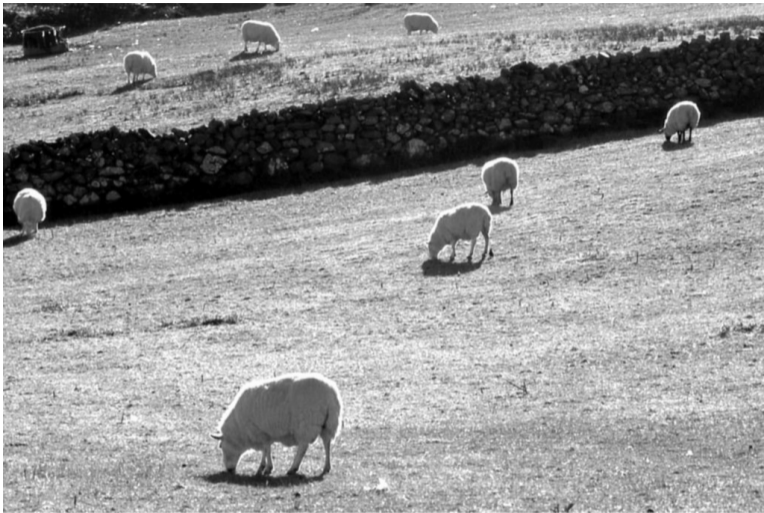


$I - \text{HDF}_N(I)$



$$I + \text{HDF}_B(I) - \text{HDF}_N(I)$$





|

# ANNEXE A

Mise en œuvre récursive du lissage gaussien



## ○ Mise en œuvre récursive du lissage gaussien

▶ la convolution gaussienne admet une décomposition récursive

▶ implémentation en deux passes :  $I(P) \rightarrow J(P) \rightarrow I'(P)$

▶ gauche - droite :  $J(P) = bI(P) + \frac{1}{b_0}(b_1J(P-1) + b_2J(P-2) + b_3J(P-3))$

▶ droite - gauche :  $I'(P) = bJ(P) + \frac{1}{b_0}(b_1I'(P+1) + b_2I'(P+2) + b_3I'(P+3))$

$q$	$\begin{cases} 0.98711\sigma - 0.9633 & \text{si } \sigma > 2.5 \\ 3.97156 - 4.14554\sqrt{1 - 0.26891\sigma} & 0.5 \leq \sigma \leq 2.5 \end{cases}$
$b_0$	$1.57825 + 2.44413q + 1.4281q^2 + 0.422205q^3$
$b_1$	$2.44413q + 2.85619q^2 + 1.26661q^3$
$b_2$	$-1.4281q^2 - 1.26661q^3$
$b_3$	$0.422205q^3$
$b$	$1 - \frac{b_1 + b_2 + b_3}{b_0}$

▶ coût en temps constant (indépendant de  $\sigma$ )

▶ mais résultats approximatifs

○ Mise en œuvre récursive du lissage gaussien

▶ la convolution gaussienne admet une décomposition récursive

▶ implémentation en deux passes :  $I(P) \rightarrow J(P) \rightarrow I'(P)$

▶ gauche - droite :  $J(P) = bI(P) + \frac{1}{b_0}(b_1J(P-1) + b_2J(P-2) + b_3J(P-3))$

▶ droite - gauche :  $I'(P) = bJ(P) + \frac{1}{b_0}(b_1I'(P+1) + b_2I'(P+2) + b_3I'(P+3))$

$q$	$\begin{cases} 0.98711\sigma - 0.9633 & \text{si } \sigma > 2.5 \\ 3.97156 - 4.14554\sqrt{1 - 0.26891\sigma} & 0.5 \leq \sigma \leq 2.5 \end{cases}$
$b_0$	$1.57825 + 2.44413q + 1.4281q^2 + 0.422205q^3$
$b_1$	$2.44413q + 2.85619q^2 + 1.26661q^3$
$b_2$	$-1.4281q^2 - 1.26661q^3$
$b_3$	$0.422205q^3$
$b$	$1 - \frac{b_1 + b_2 + b_3}{b_0}$

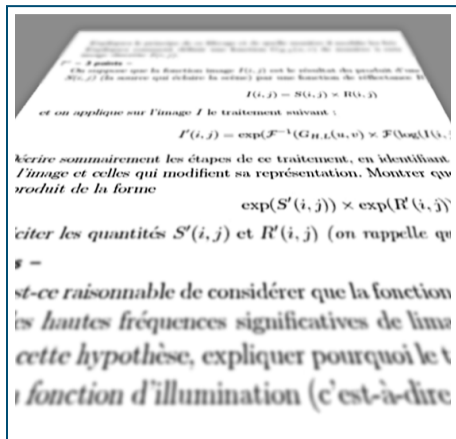
▶ coût en temps constant (indépendant de  $\sigma$ )

▶ mais résultats approximatifs

## ANNEXE B

Rehaussement de détail au moyen d'un sélecteur  
morphologique

## ★ Effet perspective 2D



L'image ci-contre est obtenue :

- ▶ à partir d'une image 2D
- ▶ en enchaînant une déformation géométrique
- ▶ et un lissage ligne par ligne, dont l'intensité varie selon la distance à une ligne de référence

Ce lissage peut être mis en œuvre par un

	A	B	C	D
lissage fréquentiel	oui	oui	non	non
lissage spatial gaussien	oui	non	oui	oui
lissage spatial gaussien récursif	oui	non	non	oui

# ★ Effet perspective 2D

Expliquez le principe de ce filtrage et de quelle manière il modifie les fréquences spatiales.  
Expliquez comment définir une fonction  $G_{H,L}(u, v)$  de manière à extraire une image discrète  $I(i, j)$ .

7° – 3 points –

On suppose que la fonction image  $I(i, j)$  est le résultat du produit d'une fonction de source  $S(i, j)$  (la source qui éclaire la scène) par une fonction de réflectance  $R(i, j)$

$$I(i, j) = S(i, j) \times R(i, j)$$

et on applique sur l'image  $I$  le traitement suivant :

$$I'(i, j) = \exp(\mathcal{F}^{-1}(G_{H,L}(u, v) \times \mathcal{F}(\log(I(i, j))))$$

Décrivez sommairement les étapes de ce traitement, en identifiant celles qui modifient la représentation de l'image et celles qui modifient sa représentation. Montrer que  $I'(i, j)$  est un produit de la forme

$$\exp(S'(i, j)) \times \exp(R'(i, j))$$

et explicitez les quantités  $S'(i, j)$  et  $R'(i, j)$  (on rappelle que  $\mathcal{F}(f + g)$

8° – 2 points –

Pourquoi est-ce raisonnable de considérer que la fonction  $S(i, j)$  est limitée dans le spectre tandis que les hautes fréquences significatives de l'image  $I(i, j)$  sont dues à la réflectance  $R(i, j)$ ? Sous cette hypothèse, expliquez pourquoi le traitement de la question précédente est efficace pour extraire la fonction de réflectance (c'est-à-dire les variations dues à la perspective).

L'image ci-contre est obtenue :

- ▶ à partir d'une image 2D
- ▶ en enchaînant une déformation géométrique
- ▶ et un lissage ligne par ligne, dont l'intensité varie selon la distance à une ligne de référence

Ce lissage peut être mis en œuvre par un

	A	B	C	D
lissage fréquentiel	oui	oui	non	non
lissage spatial gaussien	oui	non	oui	oui
lissage spatial gaussien récursif	oui	non	non	oui

# ★ Effet perspective 2D

Expliquez le principe de ce filtrage et de quelle manière il modifie les tons.  
Expliquez comment définir une fonction  $G_{H,L}(u,v)$  de manière la plus simple possible  $I(i,j)$ .

**3 points** –  
On suppose que la fonction image  $I(i,j)$  est le résultat du produit d'une source  $S(i,j)$  (la source qui éclaire la scène) par une fonction de réflectance  $R$

$$I(i,j) = S(i,j) \times R(i,j)$$

et on applique sur l'image  $I$  le traitement suivant :

$$I'(i,j) = \exp(\mathcal{F}^{-1}(G_{H,L}(u,v) \times \mathcal{F}(\log(I(i,j))))$$

Écrire sommairement les étapes de ce traitement, en identifiant l'image et celles qui modifient sa représentation. Montrer que le produit de la forme

$$\exp(S'(i,j)) \times \exp(R'(i,j))$$

écarter les quantités  $S'(i,j)$  et  $R'(i,j)$  (on rappelle que  $S$  –  
est-ce raisonnable de considérer que la fonction des hautes fréquences significatives de l'image –  
cette hypothèse, expliquer pourquoi le traitement par une fonction d'illumination (c'est-à-dire

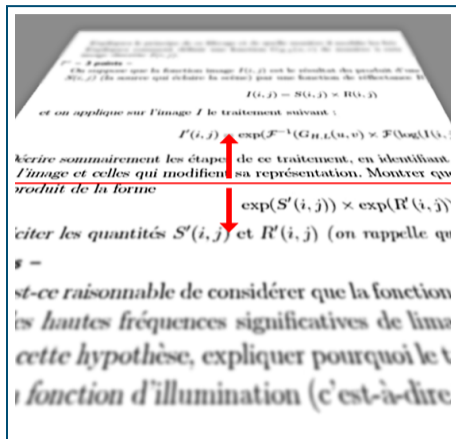
L'image ci-contre est obtenue :

- ▶ à partir d'une image 2D
- ▶ en enchaînant une déformation géométrique
- ▶ et un lissage ligne par ligne, dont l'intensité varie selon la distance à une ligne de référence

Ce lissage peut être mis en œuvre par un

	A	B	C	D
lissage fréquentiel	oui	oui	non	non
lissage spatial gaussien	oui	non	oui	oui
lissage spatial gaussien récursif	oui	non	non	oui

# ★ Effet perspective 2D



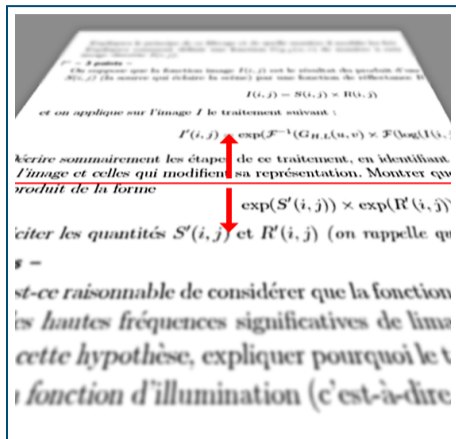
L'image ci-contre est obtenue :

- ▶ à partir d'une image 2D
- ▶ en enchaînant une déformation géométrique
- ▶ et un lissage ligne par ligne, dont l'intensité varie selon la distance à une ligne de référence

Ce lissage peut être mis en œuvre par un

	A	B	C	D
lissage fréquentiel	oui	oui	non	non
lissage spatial gaussien	oui	non	oui	oui
lissage spatial gaussien récursif	oui	non	non	oui

# ★ Effet perspective 2D



L'image ci-contre est obtenue :

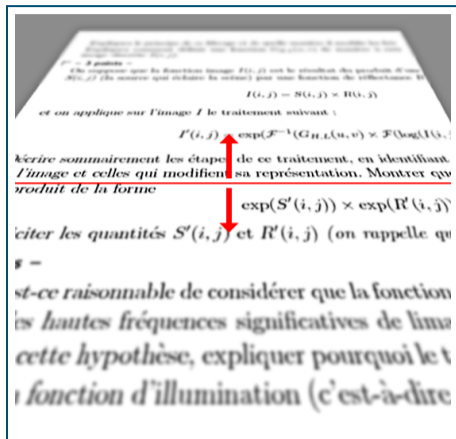
- ▶ à partir d'une image 2D
- ▶ en enchaînant une déformation géométrique
- ▶ et un lissage ligne par ligne, dont l'intensité varie selon la distance à une ligne de référence

Ce lissage peut être mis en œuvre par un

	A	B	C	D
lissage fréquentiel	oui	oui	non	non
lissage spatial gaussien	oui	non	oui	oui
lissage spatial gaussien récursif	oui	non	non	oui



# ★ Effet perspective 2D



L'image ci-contre est obtenue :

- ▶ à partir d'une image 2D
- ▶ en enchaînant une déformation géométrique
- ▶ et un lissage ligne par ligne, dont l'intensité varie selon la distance à une ligne de référence

Ce lissage peut être mis en œuvre par un

	A	B	C	D
lissage fréquentiel	oui	oui	non	non
lissage spatial gaussien	oui	non	oui	oui
lissage spatial gaussien récursif	oui	non	non	oui

## ○ Utilisation d'un sélecteur morphologique (toggle mapping)

- ▶ sélecteur
  - ▶ *ensemble de transformations*
  - ▶ *critère permettant de sélectionner en chaque point la transformation à appliquer*
- ▶ sélecteur à deux états  $\kappa^2$  + deux transformations  $\psi_1$  (antiextensive) et  $\psi_2$  (extensive)
- ▶ on retient la transformation donnant le résultat le plus proche de la valeur d'origine

$$\kappa^2(x) = \begin{cases} \psi_2(x), & \text{si } \psi_2(x) - I(x) < I(x) - \psi_1(x), \\ \psi_1(x), & \text{sinon.} \end{cases}$$

- ▶ rehaussement avec (érosion, dilatation)

