



جامعة 8 ماي 1945 قالمة
UNIVERSITE 8 MAI 1945 - GUELMA

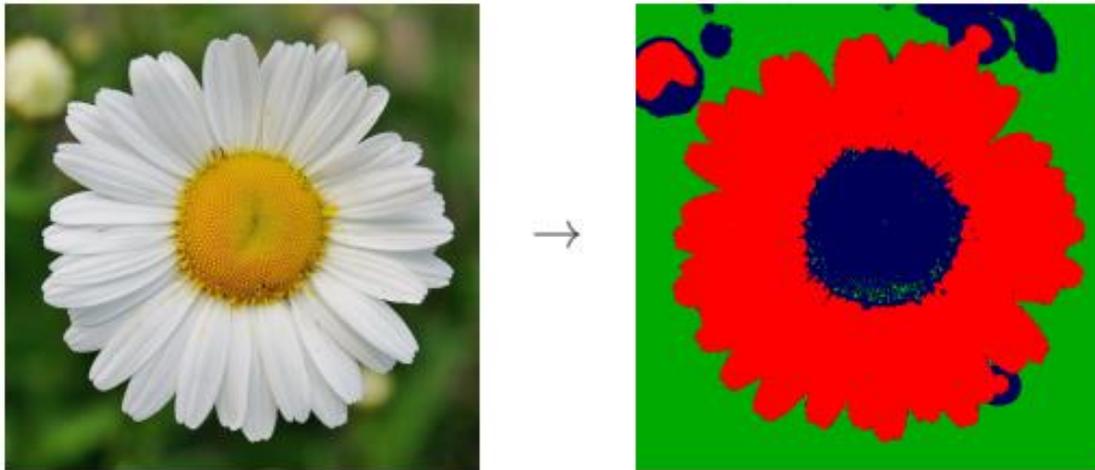
Segmentation

Objectif:

- Les traitements d'images ont pour but d'extraire l'information utile et pertinente contenue dans l'image en regard de l'application considérée.
- Ces traitements opèrent sur des données de nature numérique et doivent donc simplifier l'image sans trop la dégrader.
- Le résultat d'un tel traitement donne une description structurelle de l'image sans qu'il y ait de lien avec le contexte de la scène réelle.
- Le principal outil utilisé est la **segmentation d'image**.

Définition

La segmentation (*segmentation*) consiste à partitionner une image f suivant un critère d'homogénéité.



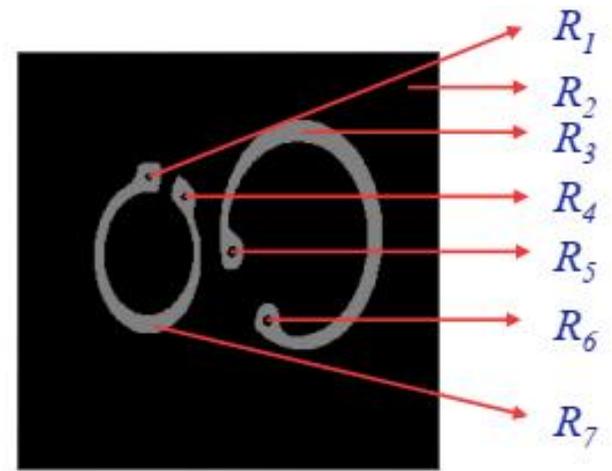
- La partition est un ensemble de régions R_i disjointes qui recouvrent l'intégralité de l'image.
- Le critère d'homogénéité est vérifié par chaque région R_i et n'est pas vérifié pour l'union de deux régions adjacentes.

Définition

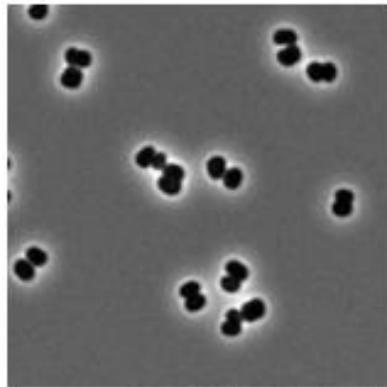
- La segmentation est un traitement de bas-niveau qui consiste à créer une partition de l'image I en un sous-ensemble R_i appelés régions tels que :
 - ◆ $\forall i, R_i \neq \emptyset$
 - ◆ $\forall i, j (i \neq j), R_i \cap R_j = \emptyset$
 - ◆ $I = \cup_i R_i$
- Les régions doivent correspondre à des objets ou des parties d'objets de la scène réelle.

Définition

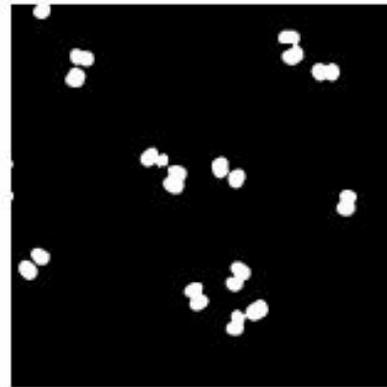
■ Exemple



Exemple de méthodes de segmentation



[NASA/JPL-Caltech]

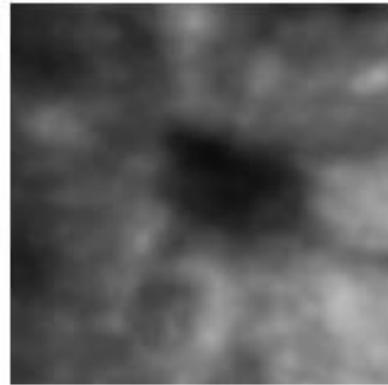


Critère :
niveaux de gris
Méthode :
seuillage de l'histogramme

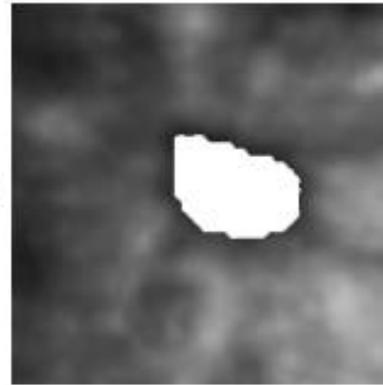


Critère :
couleur
Méthode :
classification

Définition



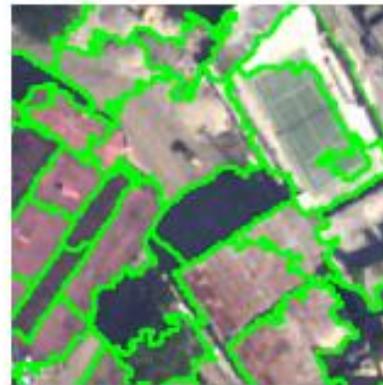
[Kozegar 2018]



Critère :
différence d'intensité
Méthode :
croissance de région



[ICube/Sertit]



Critère :
couleur + taille des régions
Méthode :
SLIC [Achanta et coll. 2012]

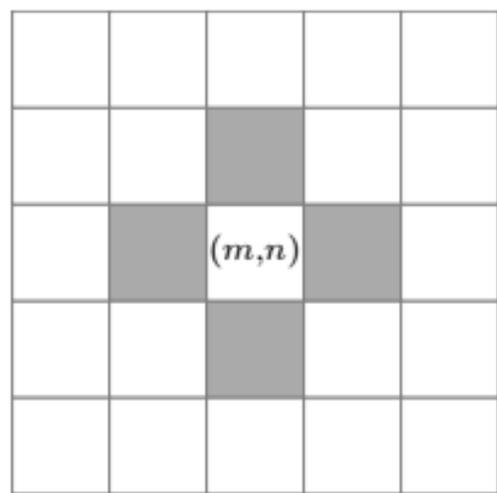
Définition

- Relations entre les pixels
- Quelques méthodes de segmentation :
 - seuillage de l'histogramme
 - classification des intensités de l'image
 - méthodes basées régions
- Comment évaluer la performance d'une méthode de segmentation ?

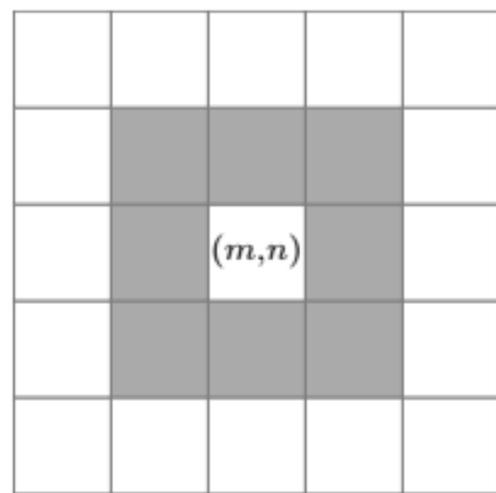
Rappel

Voisinage

4-voisinage



8-voisinage

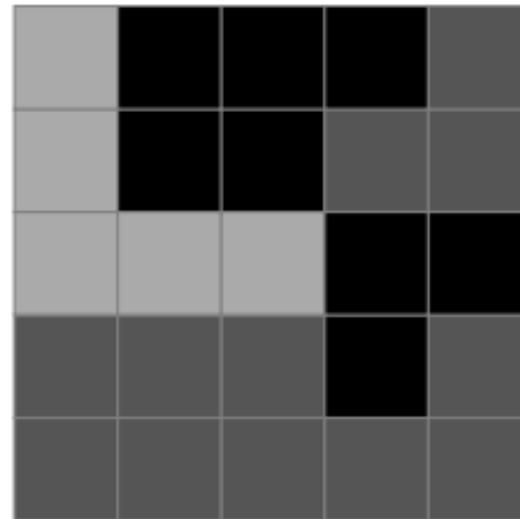


Les pixels en gris sont les voisins du pixel (m,n) .

Rappel

Composante connexe

Une composante connexe (*connected component*) est un groupe de pixels tel qu'on puisse aller d'un pixel de ce groupe à un autre pixel de ce groupe en passant par des pixels du même groupe voisins entre eux.



Remarques

- Chaque région R_i est une composante connexe.
- Le résultat de la segmentation n'est pas unique (dépend du critère d'homogénéité, de la méthode, de l'initialisation, etc.).
- Une segmentation peut s'interpréter comme un graphe (nœuds = régions, liens entre régions voisines)



- La segmentation donne une représentation haut niveau de l'image.

Définition

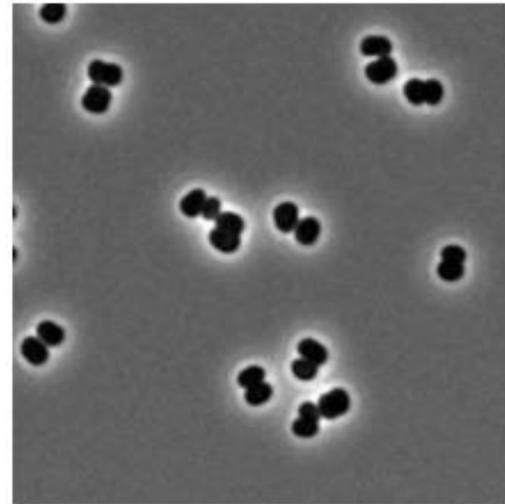
Seuillage de l'histogramme

Définition

- Le seuillage segmente une image en plusieurs classes en n'utilisant que l'histogramme.
- Une classe est caractérisée par sa distribution de niveaux de gris. A chaque pic de l'histogramme est associée une classe,
- Il existe plusieurs méthodes de seuillage d'un histogramme. Elles sont adaptées à des histogrammes avec des pics séparés.
- Le plus souvent ces méthodes s'utilisent dans le cas particulier de la segmentation en deux classes: fond et forme (i.e. passage à une image binaire).

Seuillage

Distinction pixels clairs et foncés → binarisation de l'image



[NASA/JPL-Caltech]

f



g

$$g(m,n) = \begin{cases} 1 & \text{si } f(m,n) \geq T \\ 0 & \text{si } f(m,n) < T \end{cases} \quad \text{où } T \text{ est le seuil}$$

Comment choisir le seuil T ?

Seuillage: exemple



Image originale
(256 niveaux de gris
sur $\{0, \dots, 255\}$)



Seuil à 70

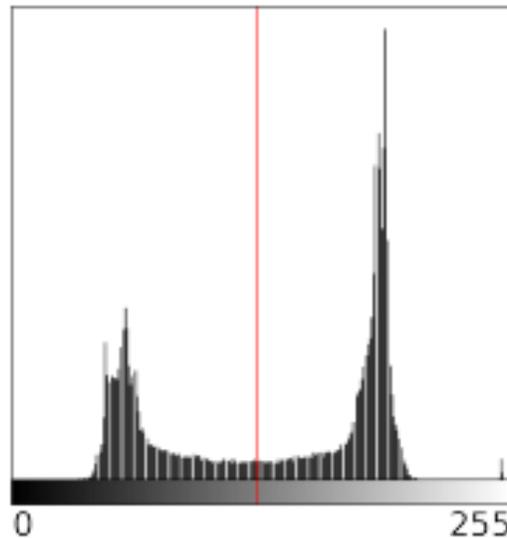


Seuil à 150

Un outil intéressant pour le choix du seuil : l'histogramme.

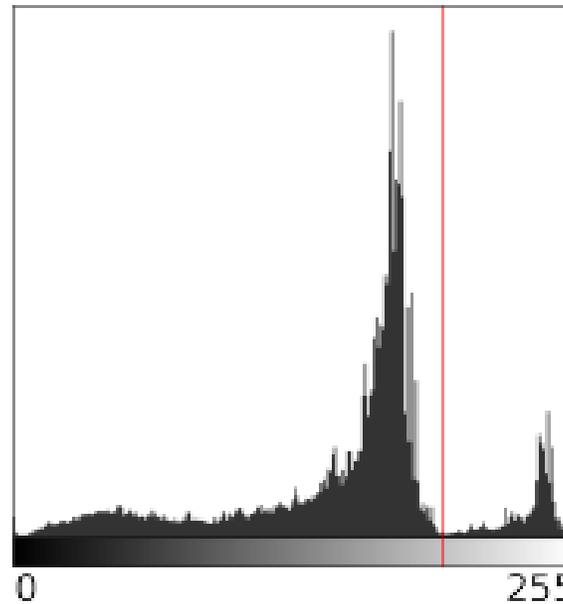
Seuillage: exemple

Dans certains cas, le choix du seuil est facile :



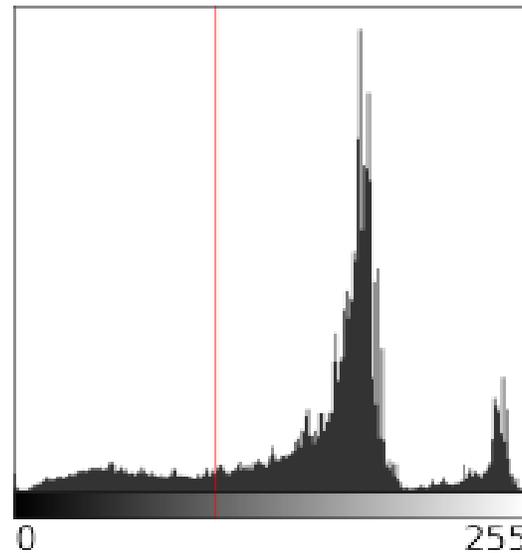
Seuillage: exemple

Dans d'autres cas, le choix du seuil est moins évident :



Seuillage: exemple

Dans d'autres cas, le choix du seuil est moins évident :



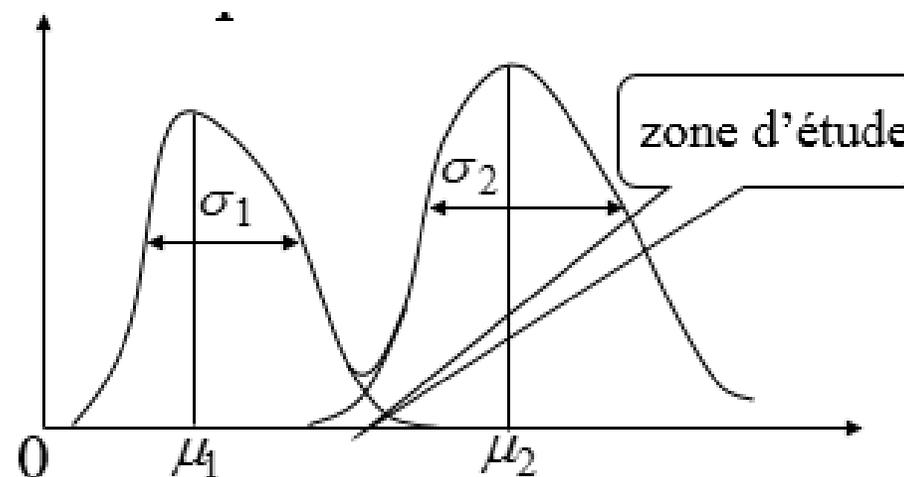
Définition

Le seuillage manuelle:

Le seuillage manuelle consiste à choisir un seuil arbitraire (i : niveau de gris) (ou plusieurs seuils dans le cas d'un histogramme multi-modale:

Définition

- **Le seuillage automatique ou dynamique :**
 - Le seuillage dynamique consiste à déterminer automatiquement le seuil i qui sépare le fond de la forme.
 - On réalise l'histogramme de l'image à étudié qui représente deux pics. Le but est de chercher la valeur du seuil i correspondante à la vallée entre les 2 pics :



Définition

- Le seuillage automatique ou dynamique :
 - Détection de vallées :
 - Cette technique est la plus intuitive. On suppose que chaque classe correspond à une gamme distincte de niveaux de gris. L'histogramme est alors multi-modal. La position des minima de l'histogramme h permet de fixer les $(m-1)$ seuils nécessaires pour séparer les m classes.
 - En termes mathématiques, les seuils s_i sont obtenus par: $h(s_i) = \text{Min} [h(k)]$ pour k dans $]m_i, m_{i+1}[$, où m_i et m_{i+1} sont les valeurs moyennes (ou les modes) de l'intensité lumineuse dans les classes C_i et C_{i+1} .
 - Malgré le développement de techniques robustes visant à faciliter la détection des vallées, cette méthode, bien que simple, est très peu appliquée car les histogrammes traités sont le plus souvent bruités et unimodaux.

Exercice

Faites une recherche autour de la Méthode d'otsu?

Définition

Méthodes de classification

Définition

Comment segmenter une image multibande ?

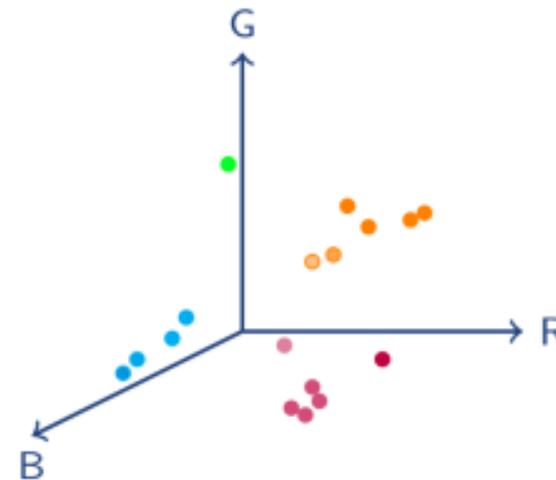
Par exemple, une image RVB possède trois bandes, pour chacune desquelles peut être déterminée un histogramme.



⇒ segmentation de l'image à l'aide d'un histogramme impossible !

Définition

Un pixel est maintenant représenté par un vecteur à valeurs dans $\mathbb{R}^B \Rightarrow$ travailler directement dans l'espace \mathbb{R}^B !



Le principe des méthodes de classification (ou plus exactement de coalescence) (*clustering*) est de regrouper les pixels en groupes homogènes.

Définition

- Algorithme des k-moyennes [Steinhaus 1957, MacQueen 1967]
- Modèles paramétriques (mélange de lois)
- *Mean-shift* [Fukunaga & Hostetler 1975]
- SLIC [Achanta et coll. 2012]
- ...

méthode de K-means

L'algorithme des k-moyennes (*k-means*) est une méthode itérative qui affecte chaque point de l'espace \mathbb{R}^B à l'un des K groupes (*clusters*) (K choisi par l'utilisateur).

Initialisation aléatoire de K centroïdes

Répéter tant que les centroïdes varient :

 | Pour chaque point :

 | Calcul des distances du point à tous les centroïdes

 | Affectation du point au groupe le plus proche

 | Calcul du centroïde de chacun des groupes

Exemple



Image originale



$K = 2$



$K = 4$

Définition

Méthodes basées région

Définition

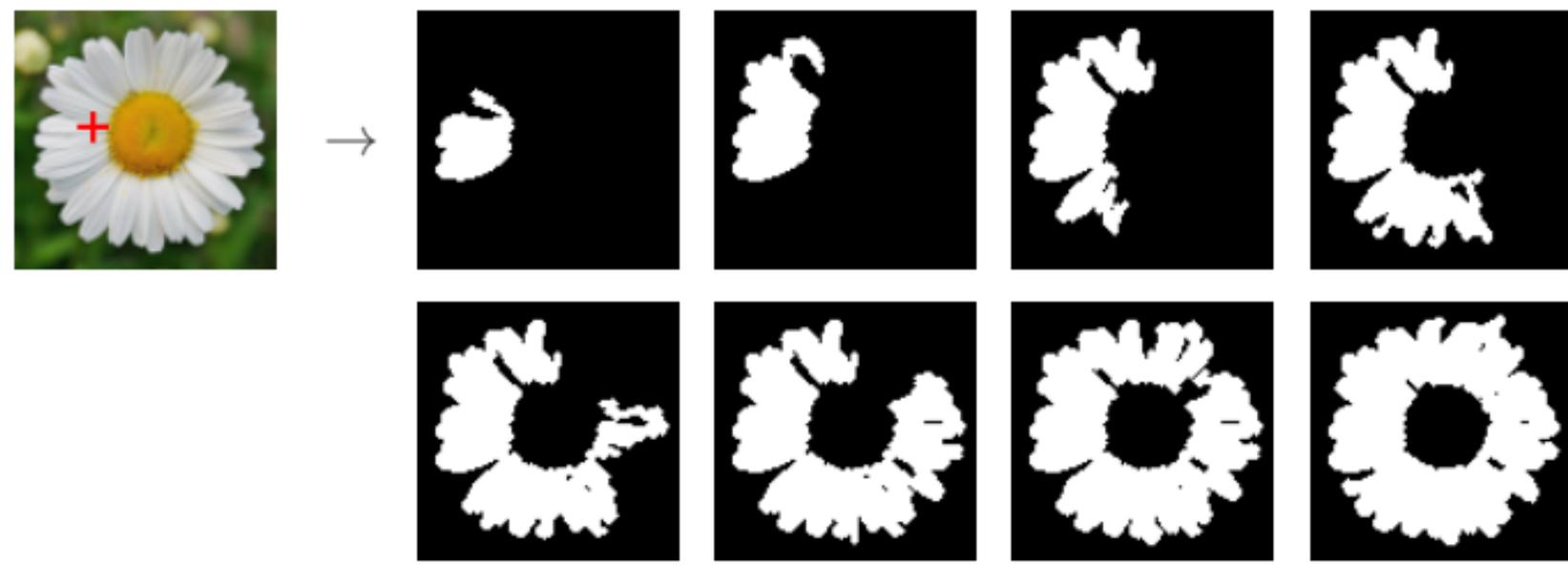
La limite fondamentale des méthodes de seuillage est de ne pas prendre en compte l'information de voisinage (seule l'information de distribution des intensités est utilisée).

L'avantage des méthodes basées région est d'agréger des pixels spatialement proches *et* ayant des intensités similaires.

- Croissance de région
- Décomposition / fusion

croissance de régions

Principe : on part d'un pixel initial (« germe ») et on l'étend en ajoutant les pixels du voisinage satisfaisant le critère d'homogénéité.



croissance de régions

Choix du germe :

- manuellement (dans la zone d'intérêt)
- automatiquement (en évitant les zones de fort contraste = fort gradient)

Critère de similarité : si un pixel $f(m,n)$ et une région R sont suffisamment similaires, alors ils sont fusionnés; sinon une nouvelle région est créée.

Exemple de critère :

$$|f(m,n) - \mu_R| < T\sigma_R$$

- T élevé : facile d'agréger des nouveaux pixels à la région.
- T faible : difficile d'agréger des nouveaux pixels à la région.

Choix de la connexité : 4-voisinage ou 8-voisinage.

croissance de régions

- R : région segmentée, initialisée au germe
- S : pixels à tester, initialisé au voisinage du germe (file FIFO : *first in, first out*)

tant que S n'est pas vide :

| p est le premier pixel de la liste S

| p est retiré de S

| si p est homogène avec R :

| | ajout à R de p

| | ajout à S des pixels du voisinage de p qui ne sont pas dans
| | R et qui ne sont pas incompatibles.

| sinon :

| | p est marqué comme incompatible.

croissance de régions

La croissance de région ne fournit pas directement une partition de l'image, mais permet de segmenter une ou plusieurs structures d'intérêt via la sélection de germes adaptés.

Au moins deux points germes sont nécessaires :



Image originale



Image segmentée

décomposition/fusion (Split and merge)

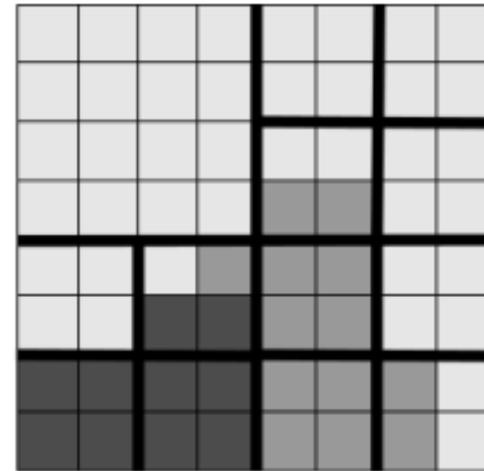
Principe :

- 1** Divisions (*split*) successives de chaque région de l'image si elles ne satisfont pas le critère d'homogénéité
⇒ Permet d'aboutir à une « partition initiale ».
→ représentation par arbre.
- 2** Fusions (*merge*) successives des régions adjacentes satisfaisant le critère d'homogénéité.
→ représentation par graphe d'adjacence.

Les représentations en arbre et par graphe permettent une représentation haut niveau de l'image.

décomposition / fusion (Split and merge)

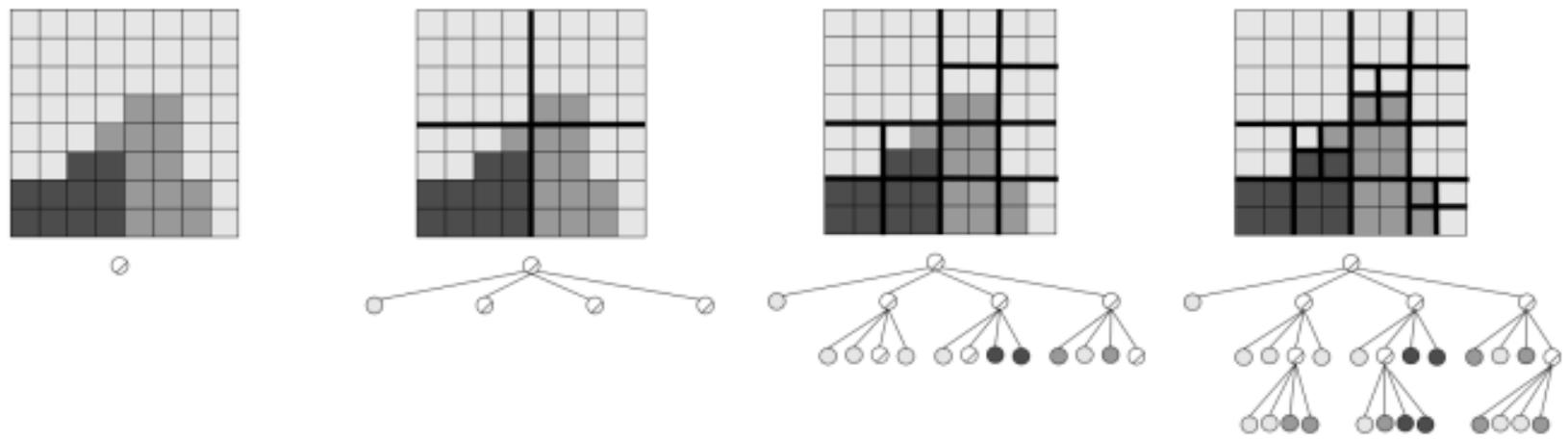
Le **quad-arbre** (*quad-tree*) est une arborescence dont chaque nœud représente une région et possède quatre fils (la racine représente l'image entière).



décomposition/fusion (Split and merge)

Décomposition

Chaque région R est partitionnée en quatre régions de taille identique si elle ne respecte pas le critère d'homogénéité.



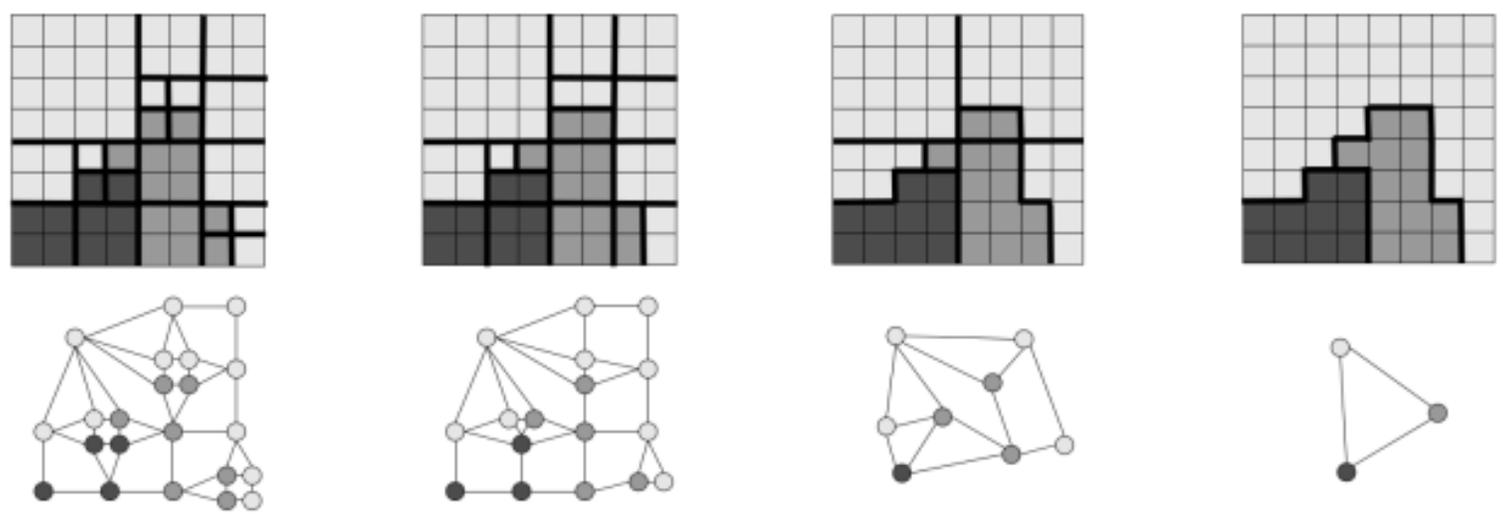
décomposition/fusion (Split and merge)

- La méthode de décomposition par quad-arbre fait apparaître des régions carrées sur l'image segmentée.
- Le problème majeur de cette structure provient de la rigidité des divisions réalisées sur l'image, mais cela fournit une partition initiale de l'image.

décomposition/fusion (Split and merge)

Fusion

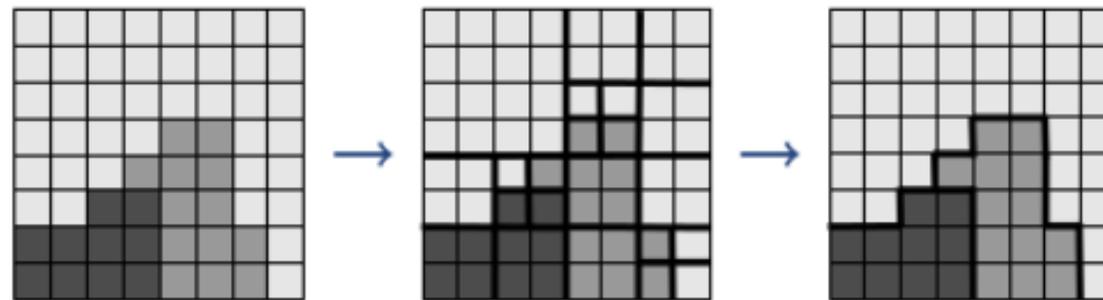
À partir d'une partition de l'image (par exemple obtenue avec un quad-arbre), on fusionne les nœuds R_1 et R_2 voisins et dont le critère de similarité sur $R_1 \cup R_2$ est respecté.



décomposition/fusion (Split and merge)

Résumé

- 1 Partition initiale en fonction du critère d'homogénéité (par exemple avec un quad-arbre)
- 2 Fusion des zones segmentées adjacentes en fonction du critère d'homogénéité (représentation avec un graphe d'adjacence)



détection de contour (Frontières)

détection de contour (Frontières)

La recherche des contours d'objets est un des problèmes les plus étudiés depuis l'origine des travaux sur l'imagerie.

– Dû à la nature très intuitive du contour qui apparaît très naturellement comme l'indice visuel idéal dans la plus grande partie des situations.

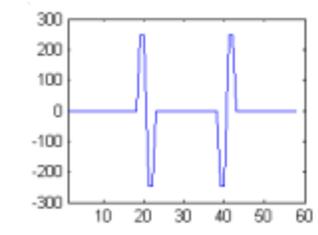
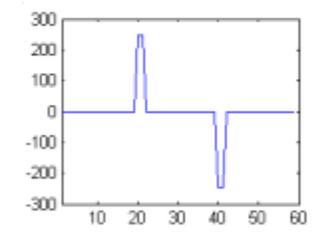
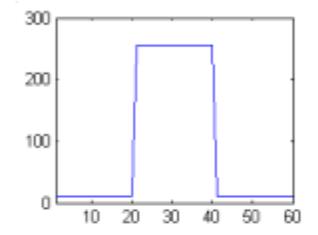
– les contours sont les lieux de variations significatives de l'information niveaux de gris

– Dans une image de mosaïque de régions parfaitement homogènes, les transitions sont strictes, et le contour doit être une chaîne de pixels d'épaisseur 1

La notion de contour étant liée à celle de variation → une évaluation de la variation en chaque pixel.

– Une variation existera si le gradient est localement maximum ou si la dérivée seconde (à définir dans un espace bi-dimensionnel) présente un passage par zéro.

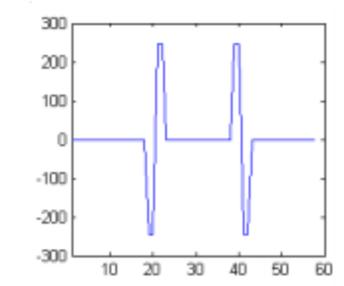
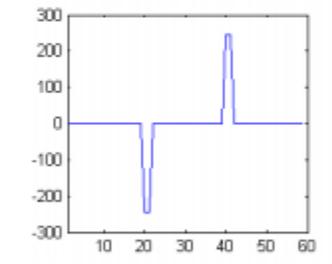
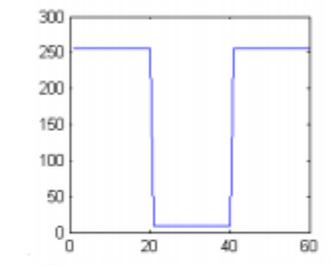
détection de contour (Frontières)



Profile de l'image

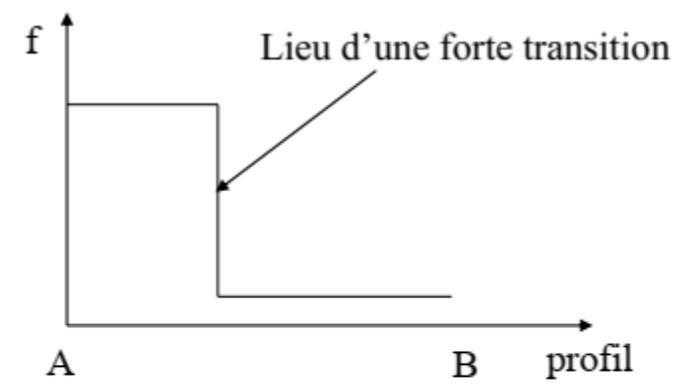
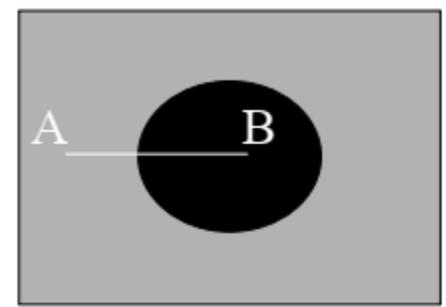
Dérivée première

Dérivée seconde

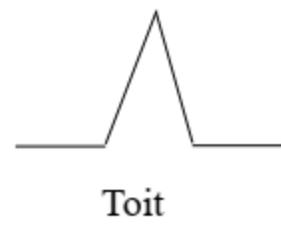
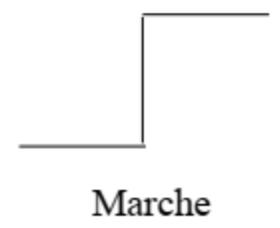


détection de contour (Frontières)

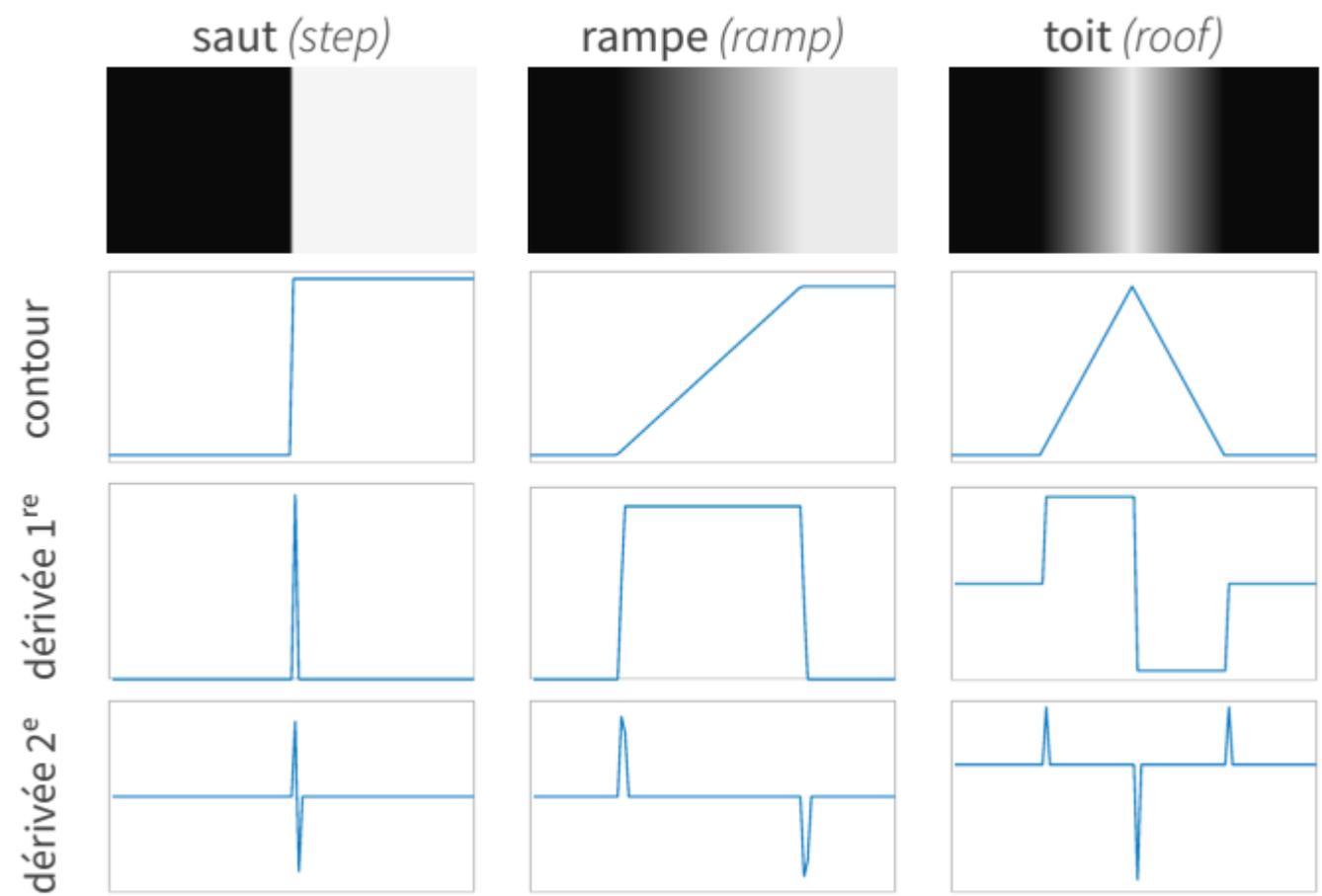
– Définition d'un contour :



– Différents types de contours :



Modèles de contour



détection de contour (Frontières)

La présence d'un contour est détectée...

- en analysant l'amplitude de la dérivée 1^{re}
- ou en déterminant le passage à zéro de la dérivée 2^e

...selon le profil d'intensité perpendiculairement au contour.

Principe de détection de contour

- Approche gradient :

$$\nabla f(i, j) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}(i, j), \frac{\partial f}{\partial y}(i, j) \right)$$

- Approche laplacien :

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(i, j) + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(i, j) \right)$$

Principe de détection de contour

- Calcul d'un gradient :
 - Le gradient, en un pixel, est un vecteur caractérisé par
 - son amplitude

$$\|\nabla f\| = \begin{cases} \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \\ |f_x + f_y| \\ \max(|f_x|, |f_y|) \end{cases}$$

- sa direction :

$$\theta = \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$$

Opérateurs de gradient:

- Calcul d'un gradient :

- Filtrage passe-haut : (dérivation par différences finies)
 - Inconvénients : 2 directions sont représentées
 - Solutions : calculer les dérivées dans plusieurs directions (0°,45°,90°,135°, etc.)
- Quelques opérateurs connus : Prewitt, Sobel, Roberts, Kirsh, etc...

- Prewitt

$$h_x = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad h_y = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

- Sobel

$$h_x = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad h_y = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Opérateurs de gradient:

- Calcul d'un gradient :
 - Quelques opérateurs connus :

- Roberts :

$$h_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad h_y = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Kirsch :

$$h_x = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix} \quad h_y = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

Exemple de filtre de sobel

Calcul d'un gradient :

- Quelques opérateurs connus :

- Sobel 4 directions :

$$h_{0^\circ} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad h_{45^\circ} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad h_{90^\circ} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad h_{135^\circ} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Kirsch 4 directions :

$$h_{0^\circ} = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix} \quad h_{45^\circ} = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix} \quad h_{90^\circ} = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix} \quad h_{135^\circ} = \frac{1}{15} \begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

Principe de détection de contour

- Calcul du laplacien :

- Les points de contour sont situés aux passages par zéro du laplacien :

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

- En faisant une approximation par différences finies on trouve les masques suivants :

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Principe de détection de contour

– Calcul du laplacien :

- **Avantages**

- proche du mécanisme de la vision humaine
- Un seul paramètre
- Pas de seuil de significativité de l'amplitude
- Contours fermés

- **Inconvénients**

- Plus grande sensibilité au bruit
- Pas d'information sur l'orientation du contour

Principe de détection de contour

– Du gradient au contour :

- Une fois le gradient calculé, il faut enchaîner la phase de détection des pixels du contour, par recherche des maxima de la dérivée ou par passage de zéro de la dérivée seconde (zero-crossing)
- Détermination des seuils sur l'amplitude :
 - On fixe 2 seuils s_b un seuil bas et s_h un seuil haut tels que :
 - *si* $\|\nabla f(x, y)\| < s_b$ alors (x, y) n'est pas un point contour
 - *si* $\|\nabla f(x, y)\| > s_h$ alors (x, y) n'est pas un point contour
 - *si* $s_b \leq \|\nabla f(x, y)\| \leq s_h$ alors l'appartenance à un contour sera fonction du contexte

Principe de détection de contour

– Les approches optimales :

- Critères de Canny
- Filtre de Shen-Castan
- Filtre de Deriche
- Filtre gaussien

détecteur de Canny

Objectifs :

- tous les contours doivent être trouvés
- il doit y avoir un minimum de réponses parasites
- les contours correctement localisés
- l'épaisseur des contours détectés doit être de 1 pixel

Canny a exprimé ces objectifs sous forme mathématique et a proposé des solutions optimales vérifiant ces objectifs.

détecteur de Canny

Algorithme :

- 1 lissage de l'image avec un filtre gaussien
- 2 calcul du gradient (amplitude et angle)
- 3 suppression des non-maxima sur les amplitudes
- 4 seuillage par hystérésis

détecteur de Canny

Lissage

Convolution de l'image f par un noyau gaussien $g(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$:

$$h = f * g.$$

Calcul du gradient

$$M = \sqrt{(h_x * f)^2 + (h_y * f)^2}$$

$$A = \text{atan} \left(\frac{h_y * f}{h_x * f} \right)$$

détecteur de Canny

Suppression des non-maxima

L'objectif est de réduire les contours trop larges fournis par le calcul du gradient.

Pour chaque pixel (x, y) de l'amplitude M :

- | choisir la direction (\updownarrow , \nearrow , \leftrightarrow , \nwarrow) la plus proche de $A(x, y)$
- | si $M(x, y)$ est plus faible que l'un des deux gradients voisins dans sa direction :
- | | annuler le gradient : $M(x, y) = 0$

détecteur de Canny

Seuillage par hystérésis

L'objectif est d'éliminer les faux contours.

Définition de deux seuils tels que $s_{\text{haut}} > s_{\text{bas}}$.

pour chaque pixel (x,y) du gradient :

si $M(x,y) > s_{\text{haut}}$:

| (x,y) est un point de contour

si $s_{\text{bas}} < M(x,y) < s_{\text{haut}}$:

| (x,y) est un point de contour si et seulement
| s'il est voisin d'un point de contour

si $M(x,y) < s_{\text{bas}}$:

| (x,y) n'est pas un point de contour