

# Traitement Numérique de l'Image

## Segmentation - Extraction d'informations

TELECOM Nancy 2A

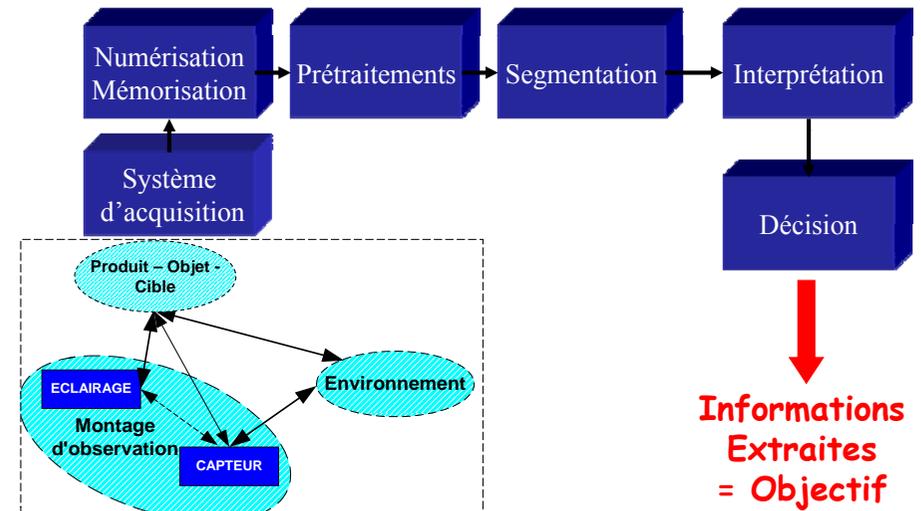
Vincent Bombardier  
(MdC HC 61ème Section)

Centre de Recherche en Automatique de Nancy -UMR CNRS 7039-  
Département: Ingénierie des Systèmes Eco-Technique  
Projet Systèmes Intelligents Ambiants

ISET

## Segmentation :

## Modèle de vision artificielle

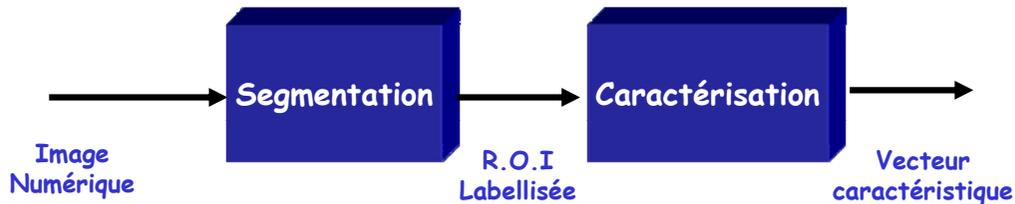


## Segmentation : Définitions

### ➤ Etape Complexe:

↳ En fait regroupe plusieurs opérations:

- Sélection de la région ou des objets recherchés
  - Region Of Interest
- Représentation de la segmentation
  - Labellisation :
    - » A chaque point d'un même groupe, on assigne la même valeur, qu'on appelle label ou étiquette.
  - Graphe d'adjacence
- Calcul des caractéristiques de la région sélectionnée

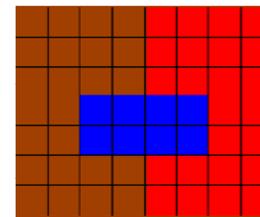


## Segmentation : Définition

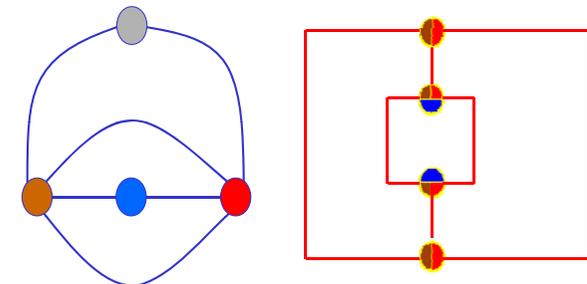
## Définition

### ➤ Représentation de la segmentation:

Labels



Graphe d'adjacence



## Segmentation : Modèle de vision artificielle

- Etape clé du traitement d'images.
- La segmentation vise à sous-diviser l'image en constituants distincts - objets
  - ↪ On appellera segmentation la tâche qui consiste à cataloguer chaque pixel comme appartenant à un certain groupe.
    - Création d'une partition de l'image I en ss ensembles  $R_i$  de Régions non vides
    - L'union des régions forme l'image I
    - Un pixel appartient à une et une seule région ( $R_i \cap R_j = \emptyset$ )



## Segmentation : Objectifs de la segmentation

- Extraire (séparer) les entités d'une image
  - ↪ Pour y appliquer un traitement spécifique
  - ↪ Pour interpréter le contenu de l'image
- Dans la pratique :
  - ↪ construire une image de masques
  - ↪ Chaque masque est une composante connexe



## Segmentation : Objectifs

- Les masques permettent d'interpréter le contenu de l'image
  - ↪ On traite chaque zone de l'image séparément



## Segmentation : Objectifs

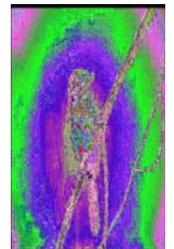
- On cherche des régions
  - ↪ Connexes
  - ↪ Homogènes en intensité
  - ↪ Délimitées par des contours nets
  - ↪ Les plus grandes possible



Origine



Bonne Segmentation



Mauvaise Segmentation

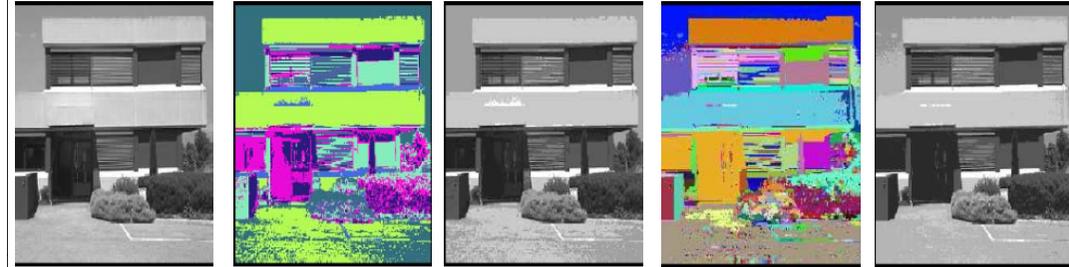
## Segmentation : Difficultés

- Dans les problèmes de segmentation, il s'agit de diviser l'image selon une certaine sémantique, d'où la difficulté de donner une définition précise.
  - ↪ La segmentation est liée à la reconnaissance.



## Segmentation : Segmentation vs Quantification

- La **quantification** s'intéresse à réduire le nombre d'intensités utiles, en regroupant les intensités voisines. En revanche, il n'y a aucune considération de la proximité des pixels.
- La **segmentation** vise à extraire des régions connexes d'intensité cohérente. On peut attribuer sur chaque région l'intensité moyenne sur la région ce qui donne un résultat visuellement voisin de la quantification. On ne peut pas prédire le nombre de couleurs qui seront utilisées



## Segmentation : Les différentes approches

- ↪ Approche Contour
  - Recherche de la frontière de la ROI
    - Discontinuité entre deux ensembles connexes de pixels
    - Fermeture des contours obtenus
- ↪ Approche Région
  - Recherche d'ensembles de pixels connexes ou voisins ayant des propriétés communes
    - Similitude / homogénéité (texture, couleur, intensité)
    - Division / Fusion (split and merge)
- ↪ Approche par Classification de Pixels
  - Extraction de classes de pixels
    - 2 classes -> Binarisation / Seuillage
    - Classification de pixels (méthodes proches Rdf..)

## Segmentation : Les différentes approches

- Il existe une dualité entre régions et contours :
  - ↪ Une région est délimitée par un contour
  - ↪ Un contour sépare deux régions



## Segmentation : Approche Contours

- Par définition, un contour est la frontière qui sépare deux objets dans une image:
  - ↳ Une discontinuité de l'image
- Les opérateurs classiques détectent toutes les lignes marquant des changements d'intensité
  - ↳ Pas seulement les contours !
  - ↳ Abus de langage sur la notion de contours !
- Segmentation en contours:
  - ↳ Détections des morceaux de lignes dans l'image
  - ↳ Une segmentation sera complète si les contours sont fermés et d'épaisseur minimale

## Segmentation : Approche Contours

- Détection des discontinuités : exemples
  - de profondeur



- d'orientation de surface
- de réflectance
- d'illumination

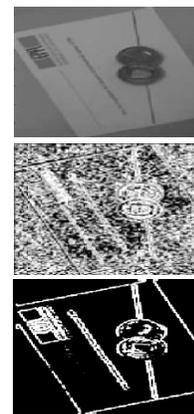
## Segmentation : Approche contours

- Après l'application d'un opérateur de détection de contours (discontinuités), on doit pour obtenir une segmentation complète de l'image :
  - ↳ Choisir les pixels appartenant aux contours
  - ↳ Fermer les contours sélectionnés.



## Segmentation : Approche contours

- La sélection des points de contours dépend fortement de :
  - ↳ l'opérateur de détection utilisé,
  - ↳ du contenu de l'image et des ses conditions d'acquisition
  - ↳ de l'objectif visé.



## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

- La plupart de ces opérateurs (sauf Roberts) lisse l'image afin d'obtenir un meilleur résultat.
- En pratique, on obtient des contours incomplets
  - ↪ il y a des pixels superflus
  - ↪ il y a des manques
  - ↪ il y a des erreurs dans la position et l'orientation des pixels contours
- Un opérateur de détection de contour n'est qu'une première étape dans la chaîne de segmentation.
- Il faudra utiliser d'autres techniques pour sélectionner les contours obtenus avec ces opérateurs et pour les compléter (approx polygonal)
- Deux méthodes de sélection:
  - ↪ Seuillage du gradient :
    - Simple, Sensible au bruit et aux différences de contraste
  - ↪ Recherche du max de gradient puis seuillage
    - Plus long en temps de calcul, Plus précis

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

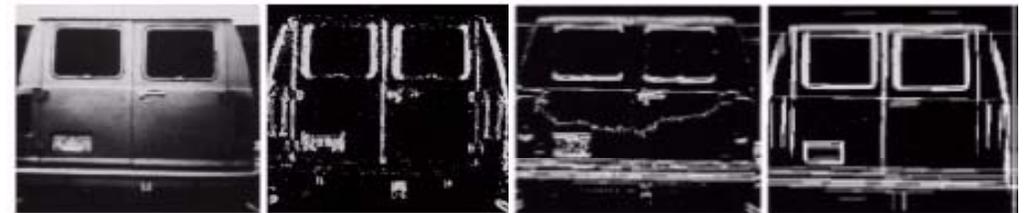
- Le gradient est composé de deux grandeurs

↪ Norme : intensité du gradient en chaque pixel

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \approx |G_x| + |G_y|$$

↪ Direction : la direction de gradient le plus fort pour chaque pixel

$$\theta = \arctan(G_y / G_x)$$



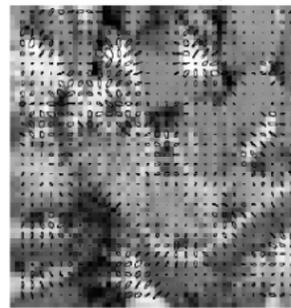
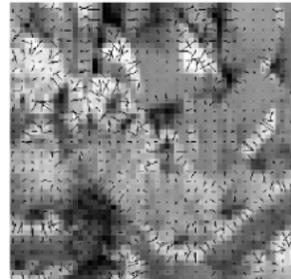
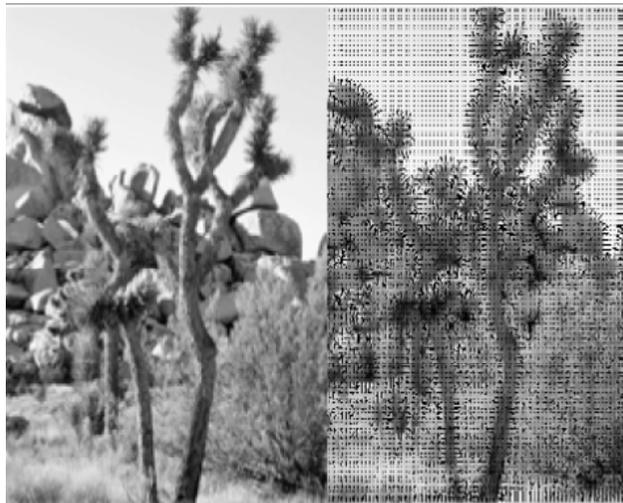
$$\frac{\partial f}{\partial x}$$

$$\frac{\partial f}{\partial y}$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} + \frac{\partial f}{\partial x}$$

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

- On peut tracer les deux composantes sur l'image
- Vecteur pour chaque pixel (norme + direction)



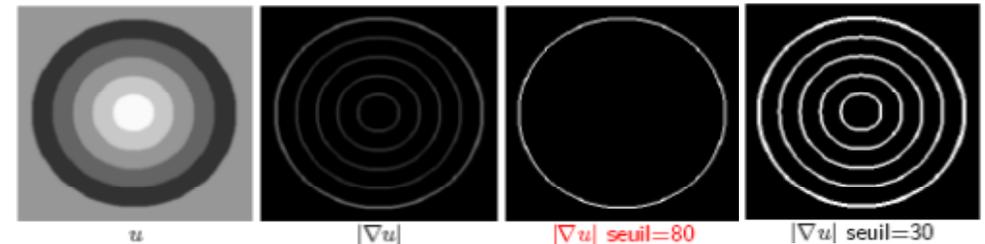
## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

- Seuillage du gradient :

↪ Problème si seuillage global

↪ Possibilité de seuillage local, au voisinage du contours ou par suivi de contour

↪ Epaisseur et continuité des Contours !!



$u$

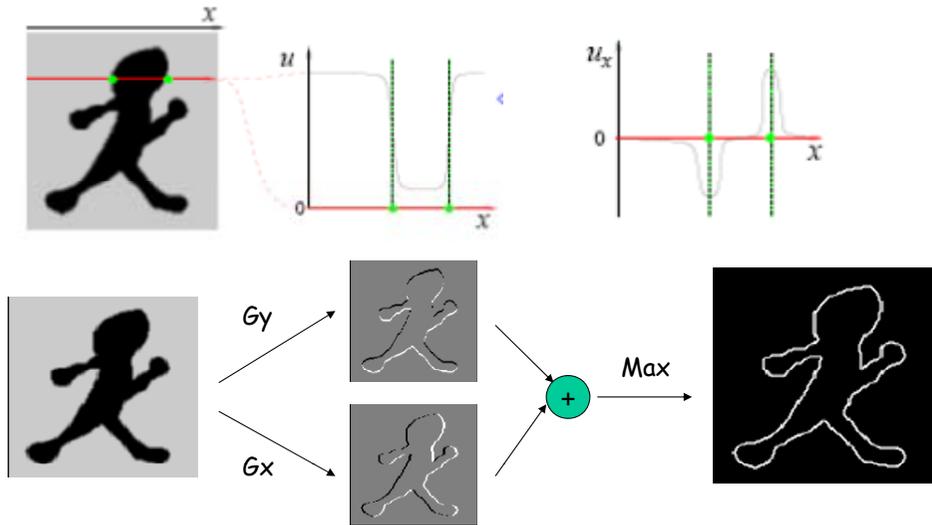
$|\nabla u|$

$|\nabla u|$  seuil=80

$|\nabla u|$  seuil=30

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

### ➤ Calcul du max du gradient :



Vendredi 2 octobre 2015

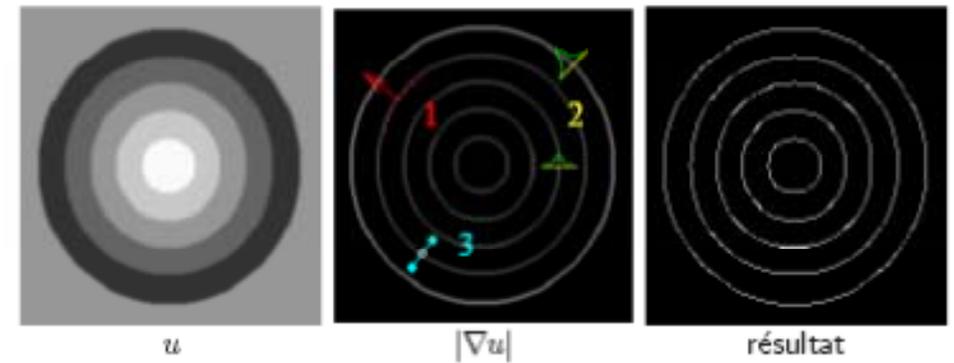
Vincent Bombardier

121

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

### ➤ Calcul du max du gradient dans la direction perpendiculaire à l'orientation du contour :

↳ La recherche est faite dans le voisinage des pixels de forts gradients



Vendredi 2 octobre 2015

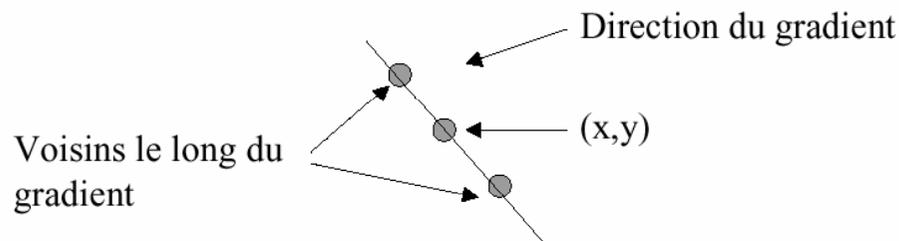
Vincent Bombardier

122

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

### ➤ Élimination des points de contours superflus :

↳ Un pixel  $(x,y)$  est supprimé si sa norme de gradient est inférieure à la norme du gradient d'un de ses deux voisins dans la direction du gradient.



Vendredi 2 octobre 2015

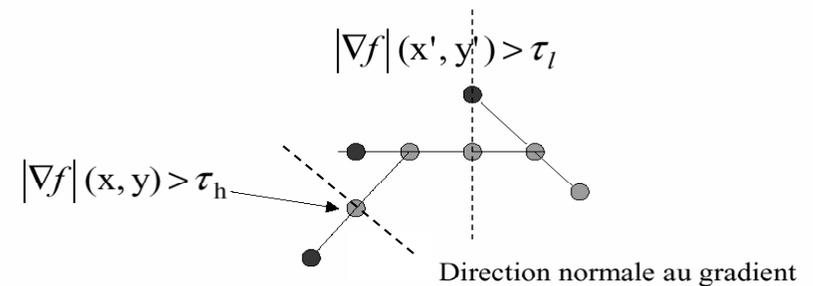
Vincent Bombardier

123

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

### ➤ Seuillage par Hystérésis: deux seuils $\tau_h$ et $\tau_l$ tq $\tau_h >$

$\tau_l$   
 ↳ Ajouter le pixel  $(x,y)$  au contour si sa norme de gradient est supérieure à  $\tau_h$   
 ↳ Ajouter au contour les pixels  $(x',y')$  reliés au pixel  $(x,y)$  le long de la normale au gradient si leur norme de gradient

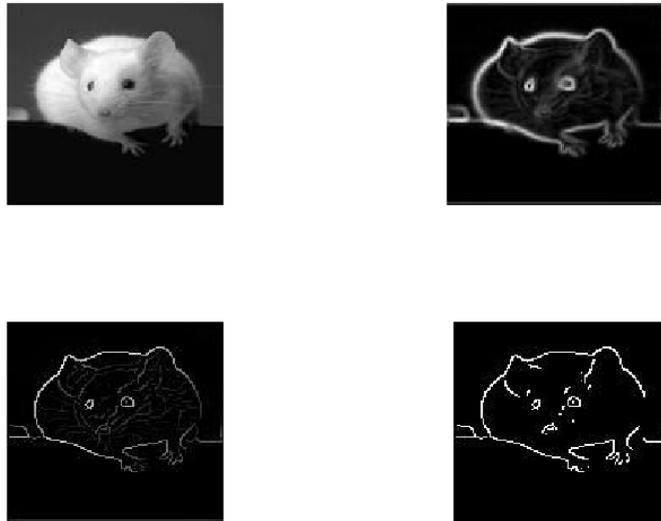


Vendredi 2 octobre 2015

Vincent Bombardier

124

## Segmentation : Sélection des contours : Gradient

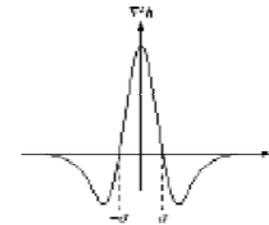


## Segmentation : Sélection des contours : Laplacien

### ➤ Détection de contours par Laplacien :

- ⌘ Le laplacien, comme tous les détecteurs de contours, est très sensible aux bruits.
- ⌘ On préfère lisser l'image avant de détecter les contours.
- ⌘ Pour ce faire, on combine un lissage Gaussien avec le Laplacien.
- ⌘ La Gaussienne lisse l'image et rend les contours flous, mais conserve leurs positions
- ⌘ Le Laplacien donne les passages par zéro aux contours

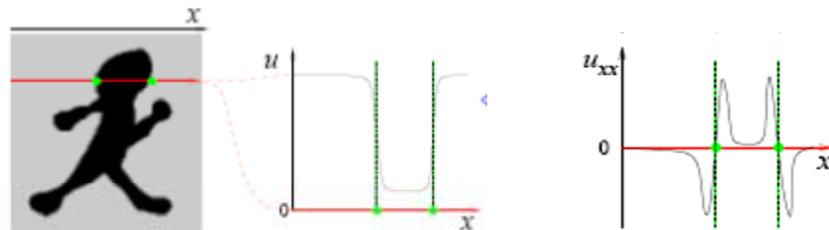
$$LoG(x, y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left[ 1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$



0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

## Segmentation : Sélection des contours : Laplacien

### ➤ Calcul du passage par Zéro du laplacien :



## Segmentation : Sélection des contours : Laplacien

**Sobel (pour comparaison)**

**Seuillage +/- Passages à zéro**

**LoG (Laplacien de Gaussienne)**

## Segmentation : Sélection des contours : Laplacien

➤ En faisant varier  $\sigma$  on obtient différents contours :



$\text{Sigma} = 3$



$\text{Sigma} = 5$

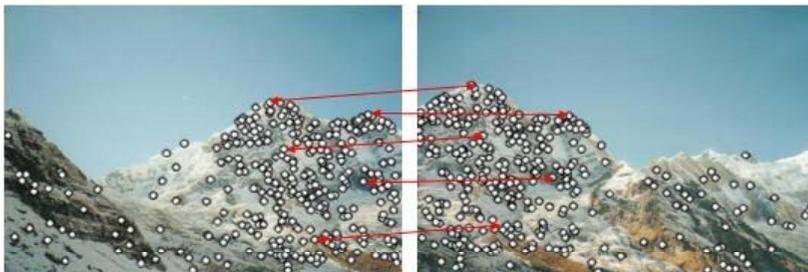
## Segmentation : Détecteur de coin de Harris

- Algorithme :
  - Calculer le gradient ( $I_x, I_y$ ) dans toute l'image
  - Pour chaque pixel :
    - ✓ Calculer sur un voisinage du pixel la matrice suivante:

$$\begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix}$$

- ✓ Calculer les valeurs propres  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  (avec  $\lambda_2 \leq \lambda_1$ )
    - ✓ Si la valeur propre minimale  $\lambda_2 >$  seuil, conserver les coordonnées du pixel dans une liste L ( $\rightarrow$  coins)
  - Trier L en ordre décroissant de  $\lambda_2$
  - Balayer la liste L de haut en bas, pour chaque pixel  $p_i$  de la liste, éliminer les autres pixels qui appartiennent au voisinage de  $p_i$
- La liste finale contient les points **saillants** pour lesquels  $\lambda_2 >$  seuil et dont les voisinages ne se chevauchent pas.

## Segmentation : Exemple d'utilisation : panorama



## Segmentation : Approche Région

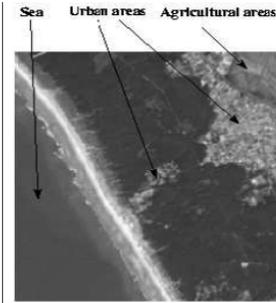
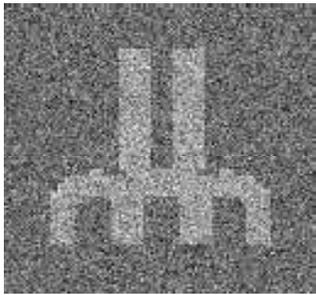
- Par définition, une région est un ensemble de pixel reliés par un critère d'homogénéité ou similitude:
  - ↪ Vérification d'un prédicat
- Il existe plusieurs méthodes de segmentation par les régions:
  - ↪ Division / Fusion (split and Merge)
  - ↪ Croissance de régions (region growing)
  - ↪ Ligne de partage des eaux (watershed line)
  - ↪ Exosquelette - Squelette par Zones d'Influence

## Segmentation : Similitude d'une région

➤ La similitude d'une région peut correspondre à différents critères:

- ↳ Niveaux de Gris,
- ↳ Couleurs,
- ↳ Mouvements,
- ↳ Textures, ...

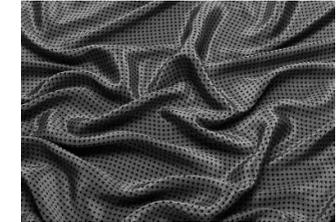
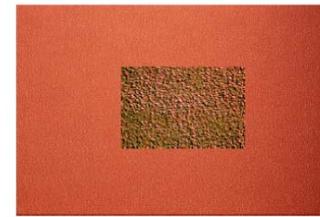
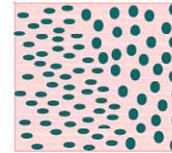
➤ Il existe différents critères de regroupement de pixels



## Segmentation : Similitude d'une région

➤ Notion de texture :

- ↳ Région de l'image qui apparaît comme homogène pour un être humain
- ↳ Répétition d'un motif de base dans différentes directions de l'espace
  - Caractéristiques spectrales : mur de briques, tissus, ...
- ↳ Ne possédant pas de contours francs
  - Caractéristiques statistiques : Herbe, écorces, ...
- ↳ Organisation de primitives (macro) ayant chacune un aspect aléatoire (micro)



## Segmentation : Similitude d'une région

➤ Statistiques du 1er ordre:

$$\mu_1 = \sum_{k=0}^{255} k p_k \quad \text{Moyenne}$$

$$\mu_2 = \sigma^2 = \sum_{k=0}^{255} (k - \mu_1)^2 p_k \quad \text{Variance}$$

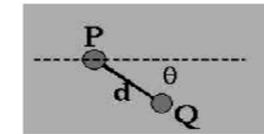
$$\mu_3 = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{k=0}^{255} (k - \mu_1)^3 p_k \quad \text{Moment d'ordre 3}$$

$$\mu_4 = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{k=0}^{255} (k - \mu_1)^4 p_k - 3 \quad \text{Moment d'ordre 4 (Kurtosis)}$$

$p_k$  : Probabilité d'avoir un niveau de gris égale à  $k$  (cf. Histogramme)

## Segmentation : Similitude d'une région

➤ Statistiques du 2nd ordre: matrice de co-occurrences



$$M(d, \theta) = [P_{i,j}]$$

$P_{i,j}$  = Probabilité[Luminance  $P = i$ , luminance  $Q = j$ ]

$$\text{Énergie} = \sum_i \sum_j P_{i,j}^2$$

$$\text{Entropie} = H = - \sum_i \sum_j P_{i,j} \log P_{i,j}$$

$$\text{Probabilité max} = \max[P_{i,j}]$$

$$\text{Contraste} = C = \sum_i \sum_j |i - j|^2 P_{i,j}$$

## Segmentation : Similitude d'une région

### ➤ Longueurs de plages : Luminance constante

$$\text{Longueur Moyenne} = \frac{1}{T} \sum_k \sum_l k q(k, l)$$

$$\text{Richesse en plages longues} = \frac{1}{T} \sum_k \sum_l k^2 q(k, l)$$

$$\text{Richesse en plages courtes} = \frac{1}{T} \sum_k \sum_l \frac{1}{k^2} q(k, l)$$

$$\text{Non-uniformité de luminance} = \frac{1}{T} \sum_k \left[ \sum_l q(k, l) \right]^2$$

$$\text{Non-uniformité de longueur} = \frac{1}{T} \sum_l \left[ \sum_k q(k, l) \right]^2$$

$$\text{Taux de plage} = \frac{1}{MN} \sum_k \sum_l q(k, l)$$

Avec  $T = \sum_k \sum_l q(k, l)$

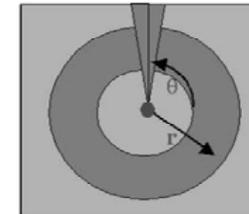
0	0	1	2
2	1	1	1
0	2	3	3
3	0	3	3

k	1	2	3	4
0	2	1	0	0
1	1	0	1	0
2	3	0	0	0
3	1	2	0	0

$$\theta = 0^\circ$$

## Segmentation : Similitude d'une région

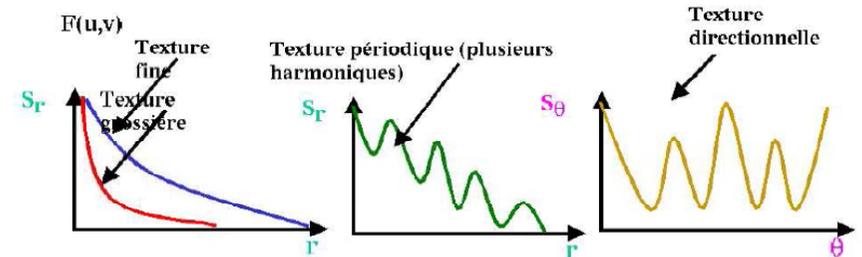
### ➤ Caractéristiques spectrales :



$F(u, v)$

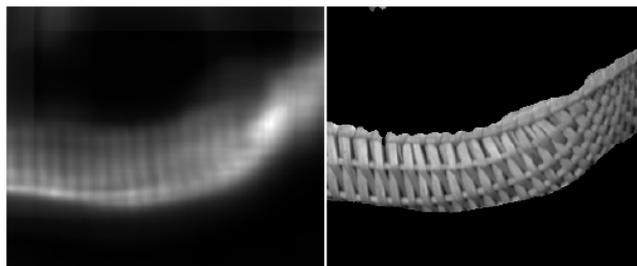
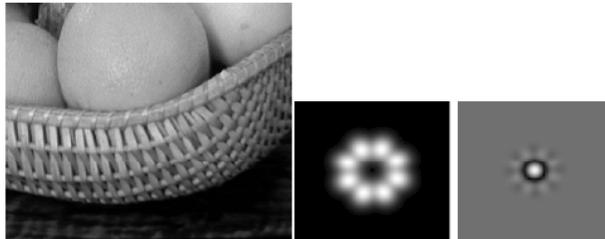
$$S_r(r) = \int_0^\pi |F(r, \theta)| d\theta$$

$$S_\theta(\theta) = \int_0^R |F(r, \theta)| dr$$



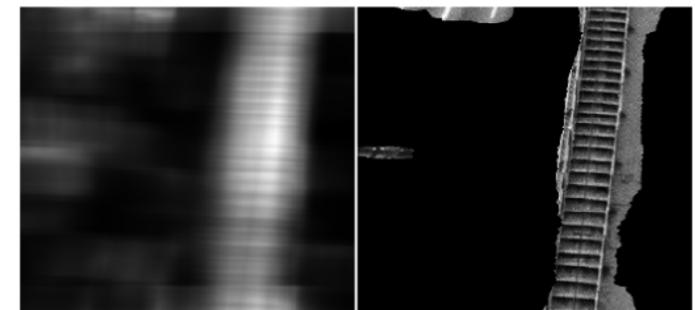
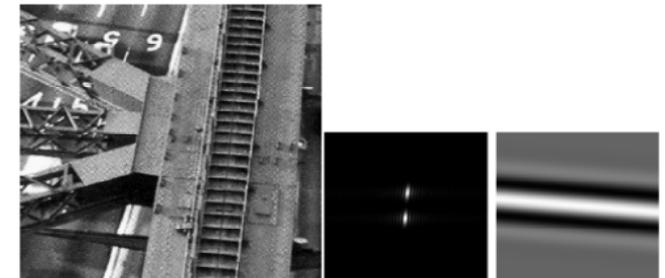
## Segmentation : Similitude d'une région

### ➤ Exemple:



## Segmentation : Similitude d'une région

### ➤ Exemple:

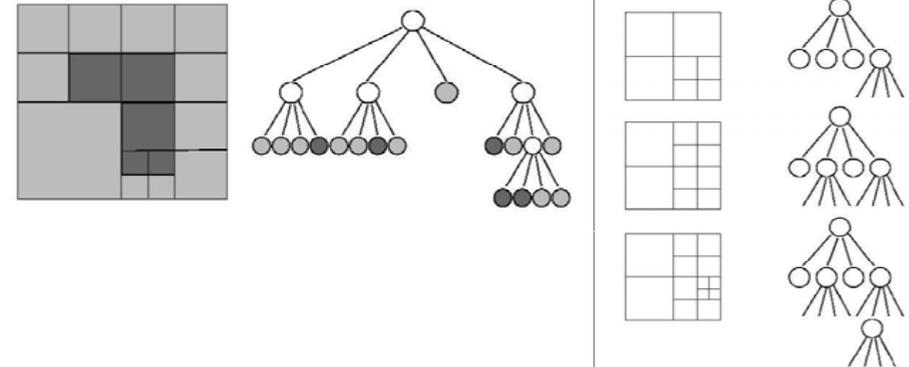


## Segmentation : Approche Split and Merge

- Initialisation :
  - ↪ l'image initiale entière forme un bloc
- Étape de division :
  - ↪ Diviser récursivement tout bloc non-homogène selon un prédicat défini (variance, max-min, ...)
  - ↪ La division d'un bloc donne 4 sous-blocs
  - ↪ Les attributs de chaque sous-bloc sont recalculés
- Étape de fusion:
  - ↪ Regrouper les blocs adjacents représentant de régions homogènes selon un prédicat défini
- Post-traitement:
  - ↪ Lissage pour éliminer la forme carré des régions

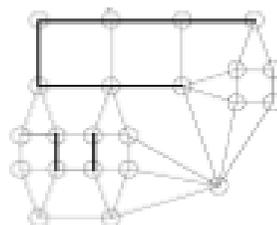
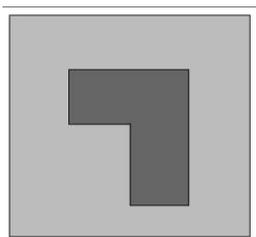
## Segmentation : Approche Région : Splitting

- Division (Split):
  - ↪ selon les Quadtree:



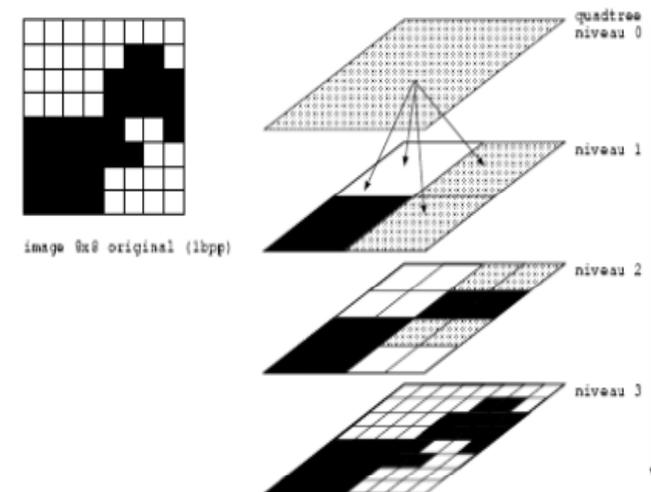
## Segmentation : Approche Région : Merging

- Fusion (Merge):
  - ↪ Fusionne les « feuilles » du Quadtree qui sont similaires.
  - ↪ Analyse d'un graphe d'adjacence de régions qui analyse une image présegmentée, constituée d'un ensemble de régions.
  - ↪ L'analyse du graphe d'adjacence de régions permet de fusionner des régions d'une image sur-segmentée.
  - ↪ Le procédé consiste à fusionner deux noeuds reliés par une arête à condition qu'ils respectent un critère de fusion.



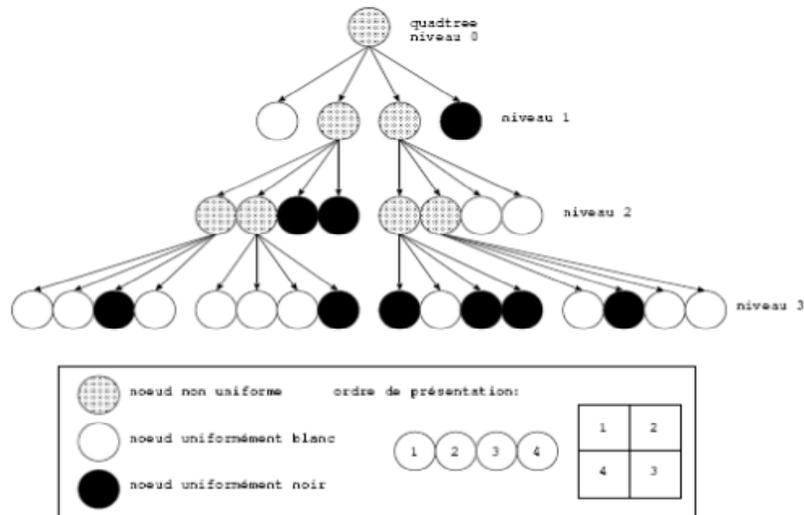
## Segmentation : Approche Région : Splitting

- Division à 100% :



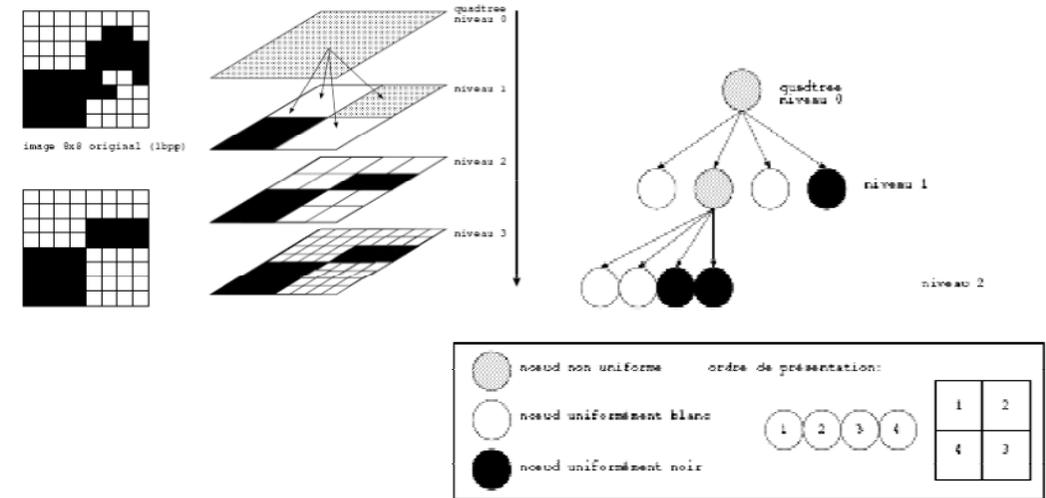
## Segmentation : Approche Région : Merging

➤ Fusion à 100% :



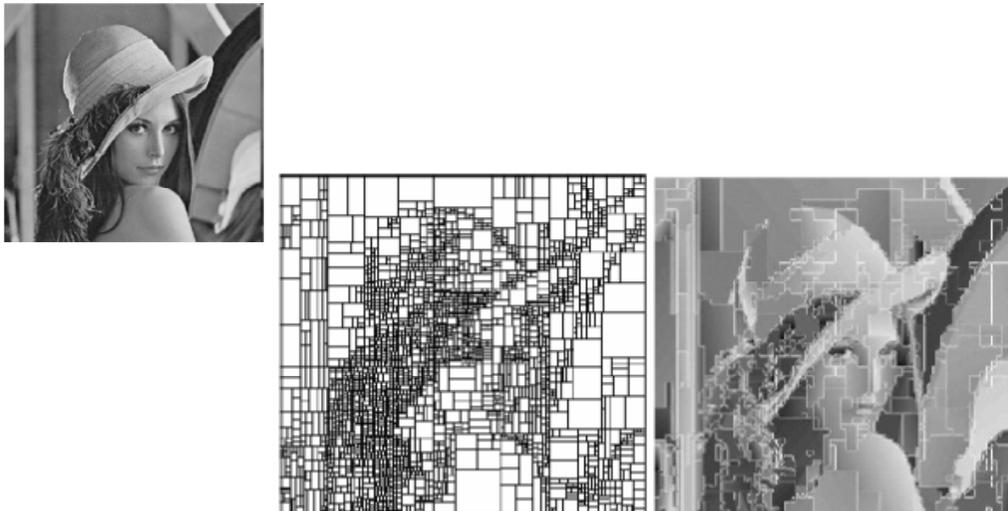
## Segmentation : Approche Région : split & merge

➤ Division / Fusion à 75% :



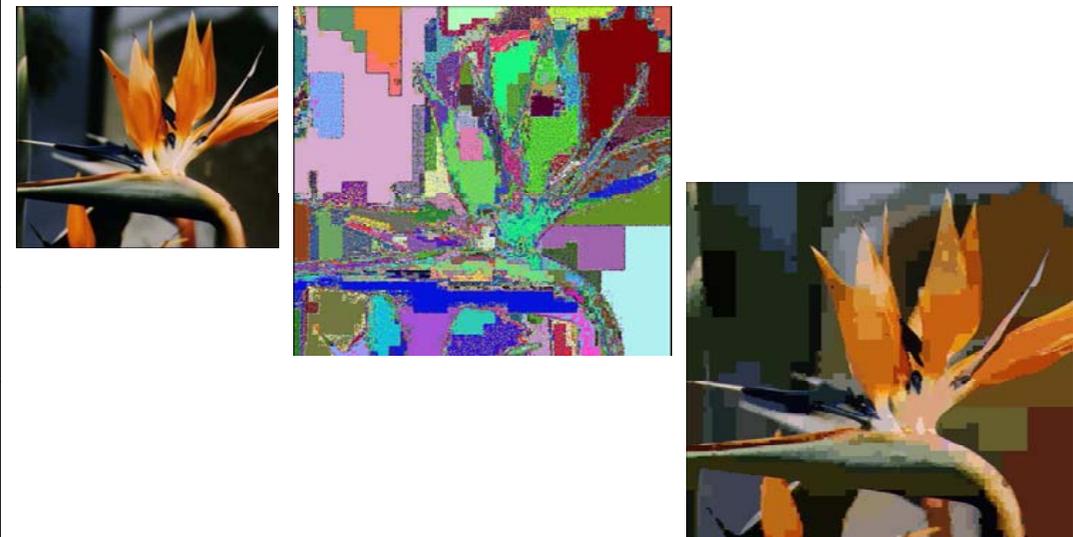
## Segmentation : Approche Région : split & merge

➤ Exemple :



## Segmentation : Approche Région : split & merge

➤ Exemple sur-segmentation:



## Segmentation : Approche Région : Croissance

### Principe:

- faire croître des régions en y ajoutant successivement les pixels adjacents qui satisfont un critère d'homogénéité.
- L'étape initiale consiste à sélectionner les germes des régions qui correspondent généralement à un pixel.
- Puis, les régions sont construites en y ajoutant successivement les pixels qui leur sont connexes et qui vérifient un critère de similarité.
- La croissance s'arrête lorsque tous les pixels ont été traités.

### Les méthodes diffèrent de par :

- Le choix des germes initiaux
- Le parcours de l'image selon le balayage de gauche à droite et de haut en bas ou de façon récursive

## Segmentation : Approche Région : Croissance

**Idée:** On part d'un point amorce (seed) et l'on l'étend en ajoutant les points de la frontières qui satisfont le critère d'homogénéité

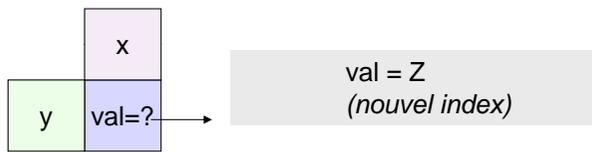
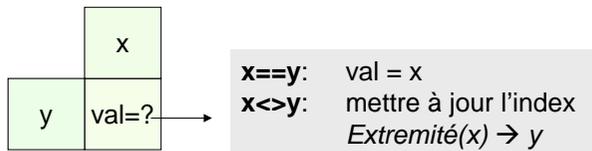


- Le point amorce peut être choisi soit par un humain, soit de manière automatique en évitant les zones de fort contraste (gradient important) => *méthode par amorce*.
- Si le critère d'homogénéité est local (comparaison de la valeur du pixel candidat et du pixel de la frontière) => *méthode linéaire*.

## Segmentation : Approche Région : Croissance

### Méthode linéaire (complexité 2n)

Seuil S:  $P_1 == P_2$  ssi  $Diff(Col(P_1), Col(P_2)) < S$



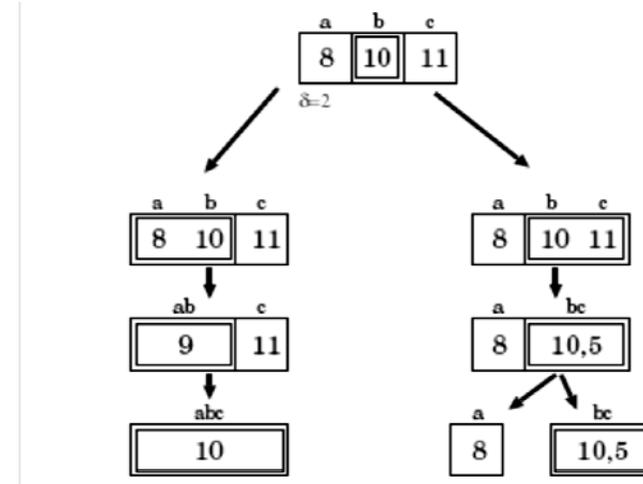
1	1	2	2	3
1	1	1	1	1

1 → 1  
2 → 2  
3 → 1

while (swap[x] != x)  
x = swap[x];

## Segmentation : Approche Région : Croissance

### Influence de la position du germe initial:



## Segmentation : Approche Région : Croissance

### Exemples:



S=6



S=7



S=3



S=4

## Segmentation : Approche Région : SKIZ

### Squelette par Zone d'Influence : Morphologie Math.

- Soit un ensemble  $X$  composé d'objets disjoints. A chaque objet  $X_i$ , on peut associer une zone d'influence telle que chaque point  $y$  de  $Y_i$  est plus proche de  $X_i$  que de tout autre objet  $X_j$  ( $i \neq j$ ).

$$Y_i = \{y \mid \forall j \neq i, d(y, X_i) < d(y, X_j)\}$$

- Le Squelette par Zone d'Influence (ou SKIZ) est par définition le complément de l'Union de tous les  $Y_i$

$$Skiz(X) = C_E\left(\bigcup_i Y_i\right)$$

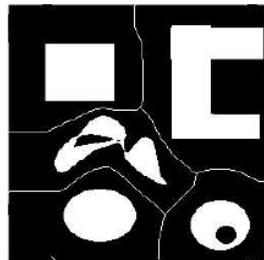
## Segmentation : Approche Région : SKIZ

### Squelette par Zone d'Influence : Morphologie Math.

- Non-Homotopique
- Anti-Extensive par rapport à CE
- Non-Croissante
- Plus stable que la squelettisation,
- Obtenu à partir de l'Exosquelette :  $S(X^c)$



Exo Squelette

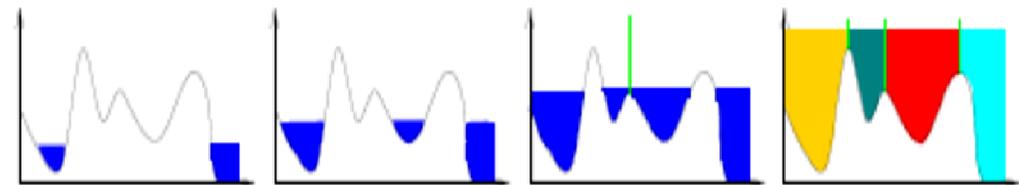


SKIZ

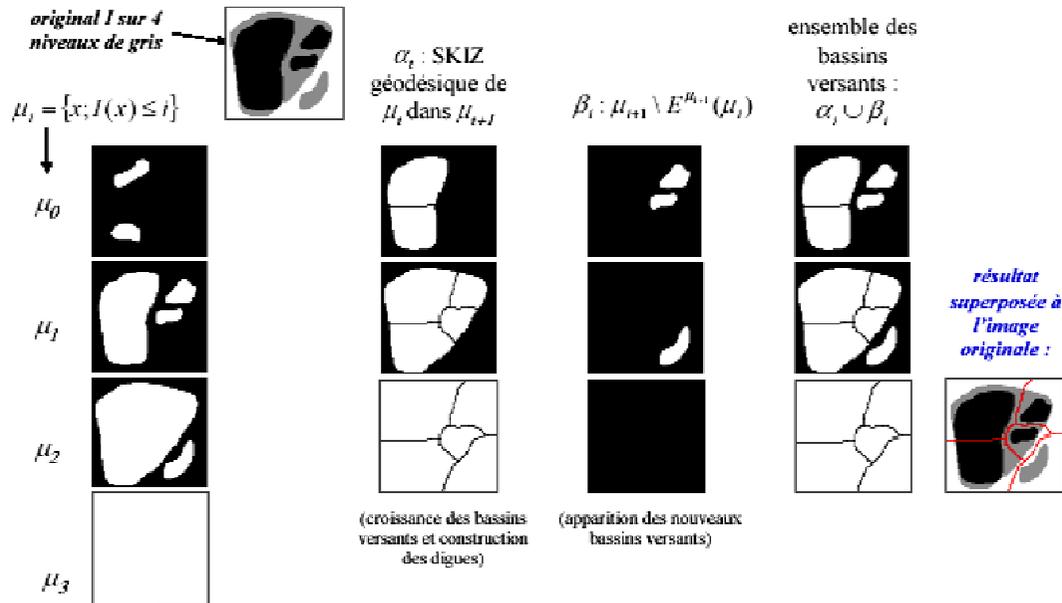
## Segmentation : Approche Région : LPE

### Ligne de partage des Eaux : Morphologie Math.

- Principe :
  - En partant du principe d'une analogie de l'image avec un relief géodésique, recherche les plateaux du relief ce qui lui permet de trouver des régions d'intensité uniforme sans utiliser le gradient.
- Les germes correspondent aux minima locaux.
- Inconvénients
  - Sur-segmentation
  - Il est souvent nécessaire d'opérer certaines transformations pour se ramener à cette problématique.
  - Un résultat pas toujours comme on l'attendrait

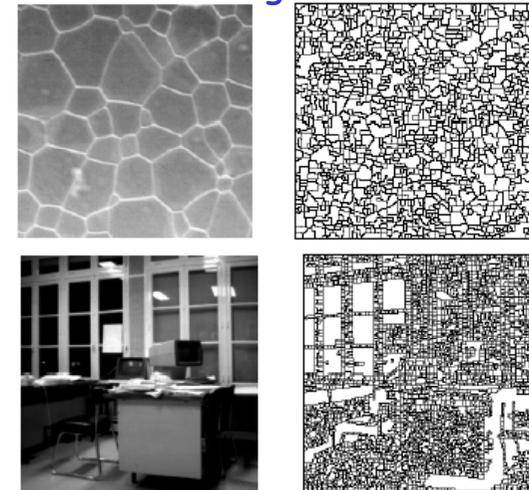


## Segmentation : Approche Région : LPE



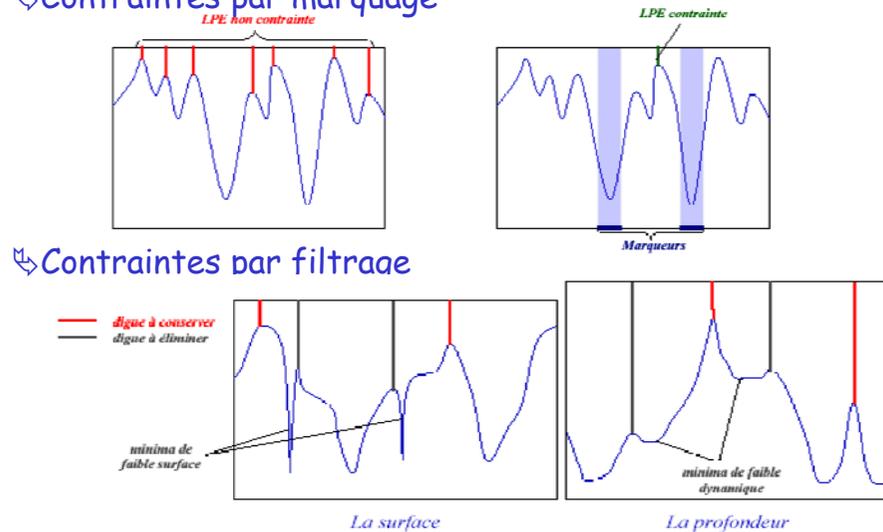
## Segmentation : Approche Région : LPE

- Ligne de partage des Eaux :
  - ↳ Problème de la sur-segmentation



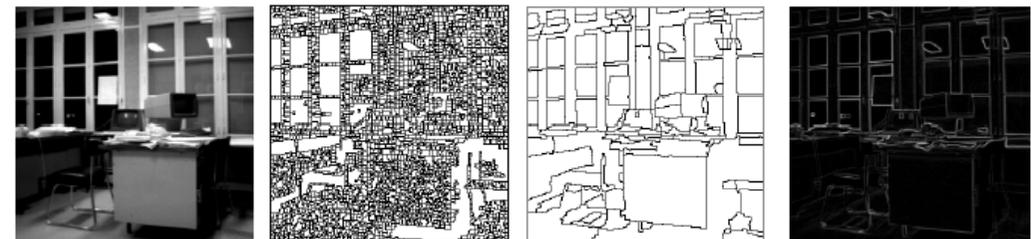
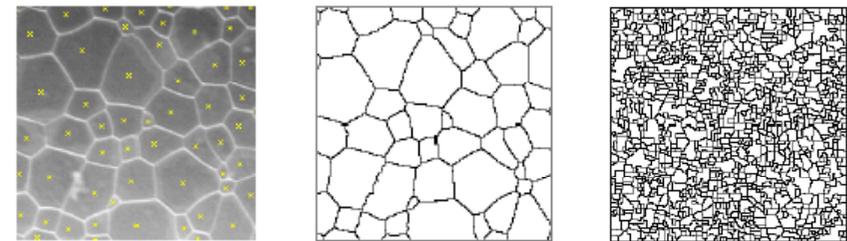
## Segmentation : Approche Région : LPE

- Ligne de partage des Eaux :
  - ↳ Contraintes par marquage



## Segmentation : Approche Région : LPE

- Ligne de partage des Eaux : avec contraintes



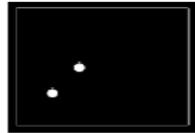
## Segmentation : Approche Région : LPE

### ➤ Ligne de partage des Eaux : Application

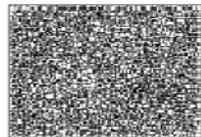
exemple 2



Séquence du Taxi de Hambourg



marqueurs : objets mobiles + fond



LPE brute



LPE contrainte

## Segmentation : Approche Classification de pixels

➤ La segmentation par classification consiste à regrouper les pixels par classes de même critère, mais contrairement à l'approche région, on ne fait pas intervenir de notion de voisinage

### ➤ Classification sur l'histogramme

- Binarisation si 2 classes
- Classification couleur sur histogramme R, V et B

### ➤ Classification sur n'importe quelle caractéristique

- K-moyennes (K-means)
- Nuées Dynamiques
- Bayes
- Réseaux de Neurones
- ... voir RDF

## Segmentation : Approche Classification de pixels

### ➤ Classification sur Histogramme :

#### ➤ Seuillage - Binarisation

- Méthode simple et très populaire pour la segmentation d'objets dans les images numériques.

#### ➤ Le seuillage peut être de nature

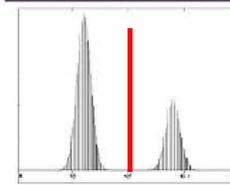
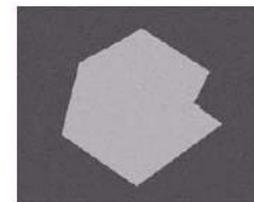
- Globale : un seuil pour toute l'image
- Locale : un seuil pour une portion de l'image
- Adaptative : un seuil qui s'ajuste selon les images/parties de l'image.

#### ➤ Inconvénients:

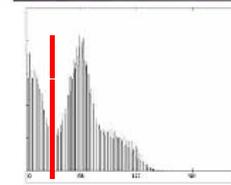
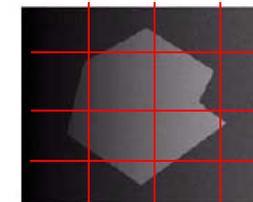
- Connaître le nombre de classes
- Apparition de faux éléments (aucune prise en compte de la composante spatiale)
- Choix du ou des seuils : seuillage automatique (Otsu)

## Segmentation : Approche Classification de pixels

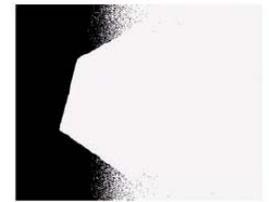
### ➤ Classification sur Histogramme :



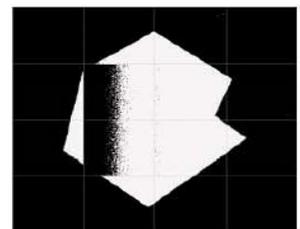
S



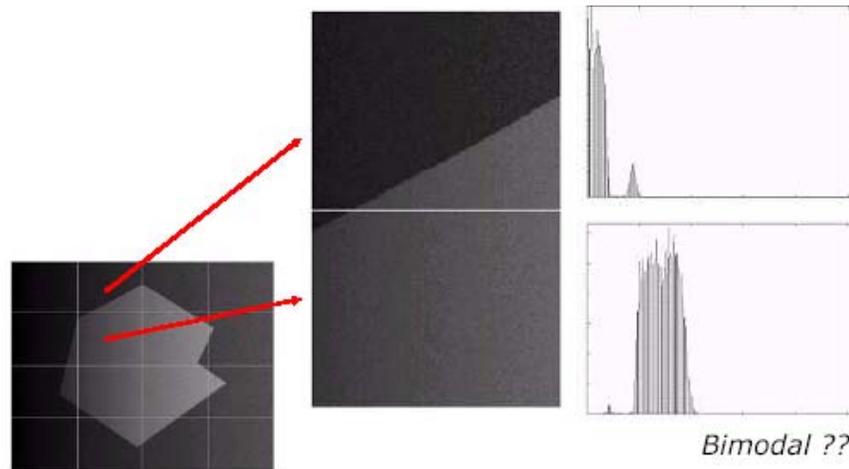
S



Seuillage adaptatif

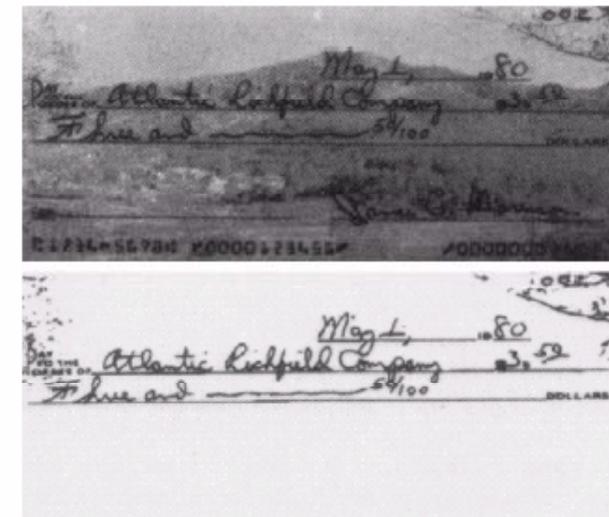


➤ Classification sur Histogramme :



Seuil de calcul sur variance  $\sigma > 100$

➤ Classification sur Histogramme : Application



➤ Segmentation par Classificateur

↳ K-moyennes (K-Means)

- Division des pixels en K groupes (clusters)
- K doit être fixé à l'avance (paramètre)

↳ Algorithme :

- On fixe les centres des groupes
- Algorithmes de découpage en k groupes de variance minimale selon un critère de distance
- On alloue chaque pixel au centre le plus proche

$$\sum_{i \in \text{clusters}} \left\{ \sum_{j \in \text{elements of } i\text{'th cluster}} \|x_j - \mu_i\|^2 \right\}$$

- x peut être n'importe quel vecteur de paramètres

➤ Segmentation par Classificateur K-moyennes



Image source

K-moyennes sur l'intensité

K-moyennes sur la couleur

➤ Segmentation par Classificateur K-moyennes

↳ 11 classes

