

Traitement numérique de l'image :

Bases de la segmentation d'images

Aymeric Histace

1

Plan



- 1. Segmentation ?
- 2. Approches statistiques
- 3. Approches contours
- 4. Approches régions
- 5. Approches duales
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

2

Plan



- **1. Segmentation ?**
- 2. Approches statistiques
- 3. Approches contours
- 4. Approches régions
- 5. Approches duales
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

3

Segmentation ?



■ Objectif :

- La segmentation vise à diviser l'image en morceaux.
- Ces morceaux correspondent aux objets dans l'image.

■ La segmentation est liée à la reconnaissance

- Quels objets voit-on dans l'image ?

Aymeric Histace

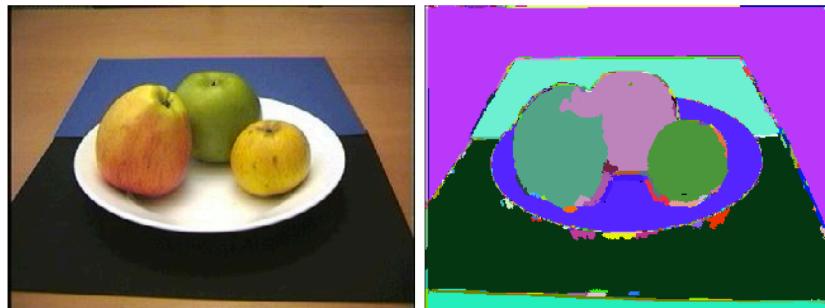
4

Segmentation ?



■ Objectif :

- La segmentation vise à diviser l'image en morceaux.



Aymeric Histace

5

Segmentation ?



■ Buts :

- Extraire, séparer les entités d'une image :
 - Pour leur appliquer un traitement spécifique
 - Pour interpréter le contenu de l'image

■ Pratiquement :

- Construire une image de masques
- Chaque masque est une composante connexe
(l'union de tous les masques correspond à l'image)

Aymeric Histace

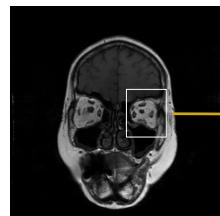
6

Segmentation ?

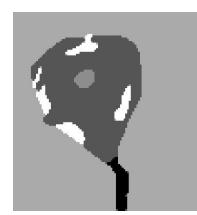
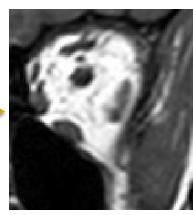


■ Buts :

- Extraire, séparer les entités d'une image :
 - Pour leur appliquer un traitement spécifique
 - Pour interpréter le contenu de l'image



IRM Orbite cérébrale



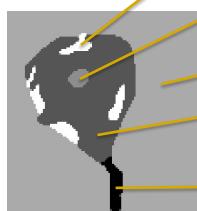
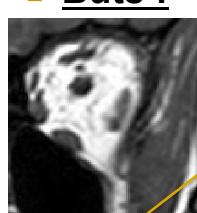
Aymeric Histace

7

Segmentation ?



■ Buts :



Muscles oculomoteurs

Nerf optique

Fond

Graisse oculaire

Autres

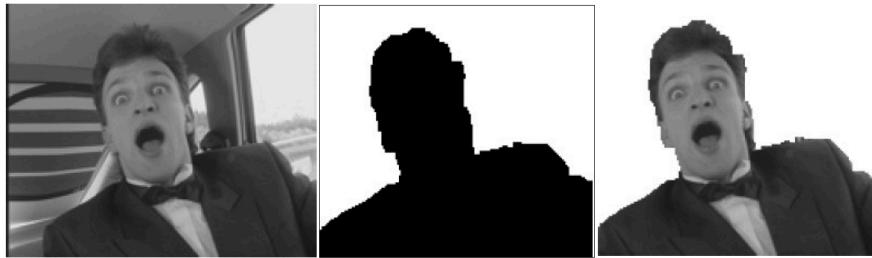
Aymeric Histace

8

Segmentation ?



- Chaque masque extrait permettra d'interpréter le contenu de l'image



Aymeric Histace

9

Segmentation ?



- La segmentation est normalement basée sur:
 - *les discontinuités* : contours
 - Les changements abruptes, frontières entre régions...
 - *les zones homogènes* : régions
 - Mêmes couleurs, textures, intensités, ...
- La segmentation est le découpage d'une image en différentes **régions et/ou contours**
- Un contour fermé est équivalent à une région

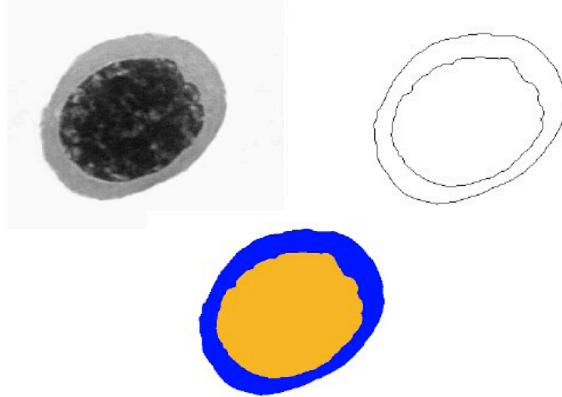
Aymeric Histace

10

Segmentation ?



- Un contour fermé est équivalent à une région



Aymeric Histace

11

Plan



- 1. Segmentation ?
- 2. **Approches statistiques**
- 3. Approches contours
- 4. Approches régions
- 5. Approches duales
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

12

Approches statistiques



- Ce type d'approche se fondent sur le calcul de paramètres statistiques d'ordre 1 (moyenne, variance) ou supérieur (Skewness Kurtosis...) sur l'histogramme de l'image
- **Exemples :**
 - Seuillage
 - Algorithme des K-means

Aymeric Histace

13

Seuillage



- Le **seuillage** est une méthode simple et très populaire pour le traitement des images numériques
- Ce n'est pas une méthode de segmentation en régions
- **Approche pixel** (pas région ni contour)

Aymeric Histace

14

Seuillage



- Souvent utiliser en segmentation (avec post-traitements)
- Le seuillage peut être
 - **Global** : un seuil pour toute l'image
 - **Local** : un seuil pour une portion de l'image
 - **Adaptatif** : un seuil s'ajustant selon les parties de l'image

Aymeric Histace

15

Seuillage : principe

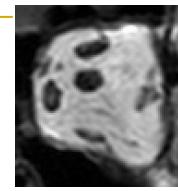


- **Seuillage de base (2 classes) :**
 - Si valeur(pixel) > seuil alors valeur(pixel) = 1
 - Si valeur(pixel) < seuil alors valeur(pixel) = 0
- Le résultat du seuillage est **une image binaire**
 - 0 ou 1 (qu'on transforme parfois en 0:255 pour l'affichage)

Aymeric Histace

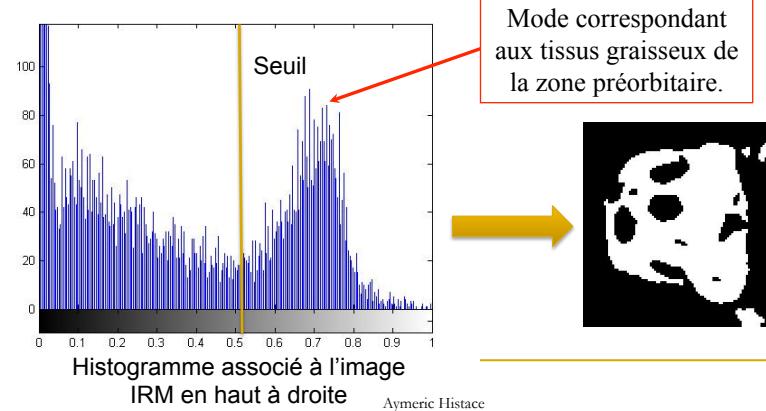
16

Seuillage : principe



■ Seuillage de base (2 classes) :

- Exemple :



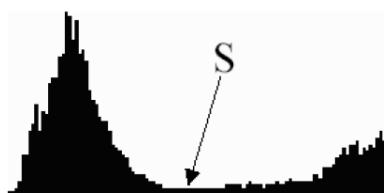
17

Seuillage : principe



■ Seuillage de base :

- **Avantages :** Universel, temps réel, simplicité, Fonctionne bien sur des histogrammes multi-modaux



Aymeric Histace

18

Seuillage : principe



■ Seuillage de base :

□ Problèmes :

- Connaître le nombre de classes,
- Apparition de faux éléments (aucune prise en compte de la composante spatiale),
- Nombre de modes = souvent nombre de classes attendu.

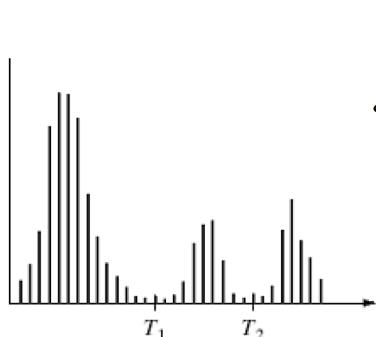
Aymeric Histace

19

Seuillage : principe



■ Seuillage multi-seuils



n modes = n-1 seuils à définir

$$g(x, y) = \begin{cases} 2 & \text{si } f(x, y) \geq T_2 \\ 1 & \text{si } f(x, y) \geq T_1 \\ 0 & \text{si } f(x, y) < T_1 \end{cases}$$



Aymeric Histace

20

Seuillage : choix du seuil



■ Comment choisir le seuil ?

- Une valeur obtenue par tests (empirique)
- La valeur moyenne des tons de gris
- La valeur médiane entre le ton maximum et le ton minimum
- Une valeur qui balance les deux sections de l'histogramme

■ Il existe des méthodes automatiques

Aymeric Histace

21

Seuillage : choix du seuil



■ Principe du choix automatique

- 2 surfaces (arrière-plan et objet) dans une image
- On suppose des modèles mathématiques pour les distributions (gaussiennes, ...)
- On peut déterminer la probabilité d'erreur de classification dans les classes 1 et 2

Aymeric Histace

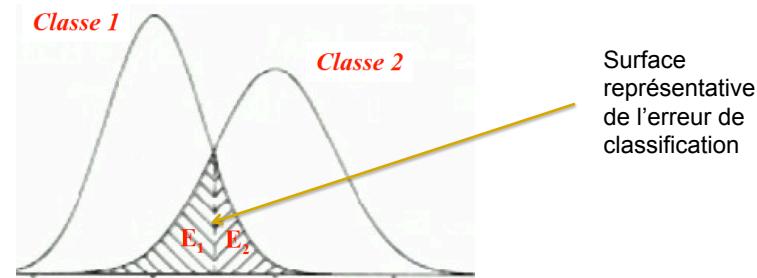
22

Seuillage : choix du seuil



■ Principe du choix automatique

- On peut déterminer la probabilité d'erreur de classification dans les classes 1 et 2



Aymeric Histace

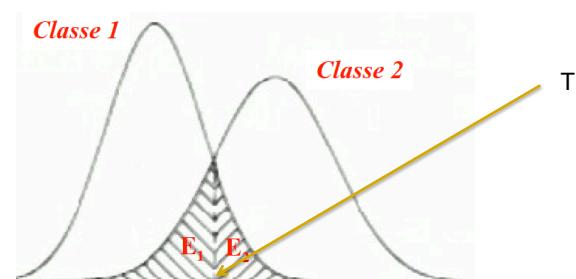
23

Seuillage : choix du seuil



■ Principe du choix automatique

- On cherche alors un seuil T qui causera une erreur minimale (surface $E_1 \cup E_2$ minimale)



Aymeric Histace

24

Seuillage : choix du seuil



■ Méthode de Otsu (matlab)

- On balaie toutes les valeurs de seuil possible T
- Pour chaque seuil T :
 - On calcule les moyennes et les variances de chaque classe correspondante
- Le seuil retenu est celui qui minimise la variance intraclasse

Aymeric Histace

25

Seuillage : choix du seuil



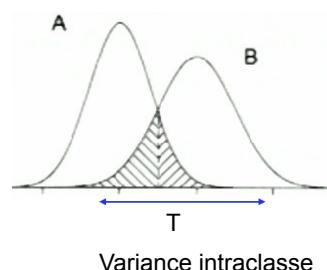
■ Méthode de Otsu (Matlab)

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} (h(i) - \mu_1)^2$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{256-T} \sum_{i=T}^{255} (h(i) - \mu_2)^2$$

$$\mu_1 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} h(i) \quad P_1 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=0}^{T-1} h(i)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{256-T} \sum_{i=T}^{255} h(i) \quad P_2 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=T}^{255} h(i)$$



$$\sigma_w^2 = P_1 \cdot \sigma_1^2 + P_2 \cdot \sigma_2^2$$

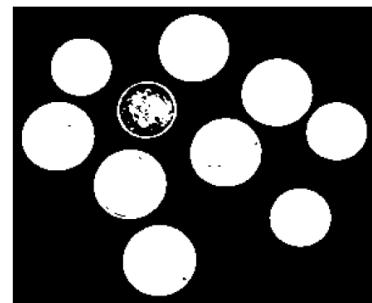
Aymeric Histace

26

Seuillage : choix du seuil



■ Méthode de Otsu (Matlab)



Aymeric Histace

27

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM

- L'algorithme EM est un algorithme itératif très utilisé pour la recherche d'un paramètre réalisant le maximum de vraisemblance.
- Grâce à cet algorithme, un histogramme H sera approximée par une somme pondérées de gaussiennes.
- Il est alors possible d'estimer automatiquement les valeurs de seuils

Aymeric Histace

28

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM

- Soit $G(x, \mu_i, \sigma_i)$ un gaussienne de moyenne μ_i et d'écart-type σ_i

- L'histogramme est alors estimé de la manière suivante

$$\hat{H}(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot G(x, \mu_i, \sigma_i)$$

- avec α_i les poids de pondérations et N le nombre de gaussienne.

Aymeric Histace

29

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM

- Le maximum de vraisemblance est atteint par calcul d'un facteur de vraisemblance V propre à chacune des gaussiennes i et des pixels x qui va permettre, à chaque itération, de recalculer les paramètres des gaussiennes.

$$V(x, i) = \frac{\alpha_i \cdot G(x, \mu_i, \sigma_i)}{\sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot G(x, \mu_n, \sigma_n)}$$

Aymeric Histace

30

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM

- Le critère d'arrêt de l'algorithme est soit un nombre maximum d'itérations pour limiter le temps de calcul,
- Soit une erreur inférieure à ε entre 2 approximations successives de l'histogramme.

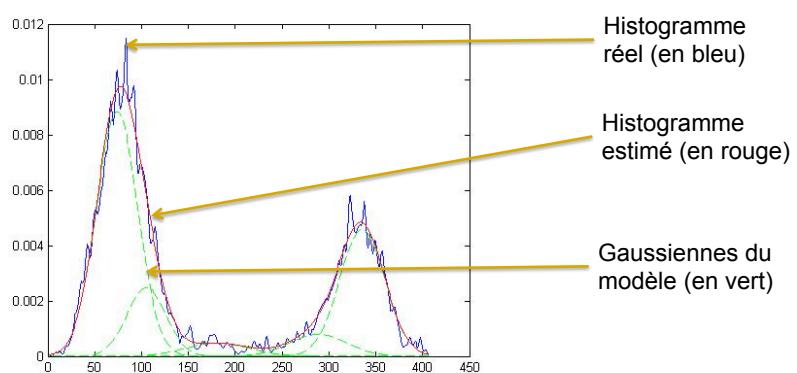
Aymeric Histace

31

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM



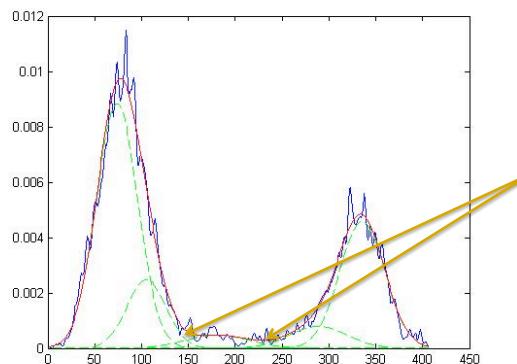
Aymeric Histace

32

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM



On peut alors déterminer automatiquement les seuils associés à chaque gaussienne du modèle

Aymeric Histace

33

Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM (exemple)

- **Limitation majeure** : il faut connaître le nombre de gaussiennes à l'avance
- On parle d'algorithme **supervisé**.

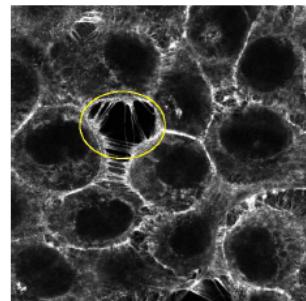
Aymeric Histace

34

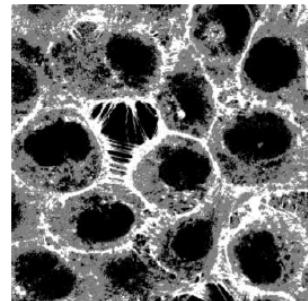
Seuillage : choix du seuil



■ Algorithme EM (exemple)



Microscopie confocale



Algo EM 3 classes

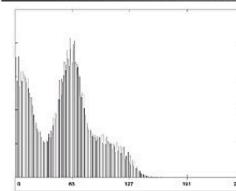
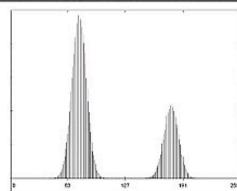
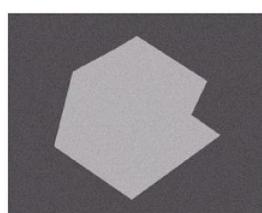
Aymeric Histace

35

Seuillage adaptatif



■ Problème : éclairage non uniforme ?



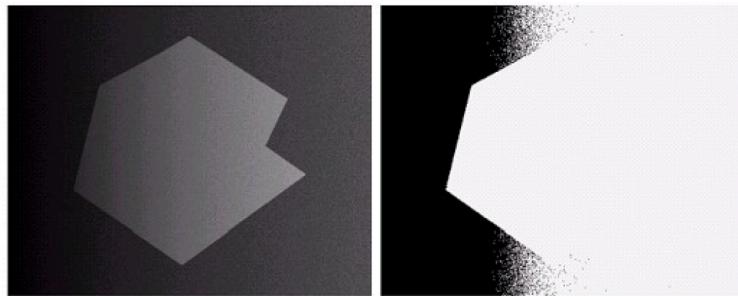
Aymeric Histace

36

Seuillage adaptatif



■ Problème : éclairage non uniforme ?



Seuil global (méthode de Otsu)

Aymeric Histace

37

Seuillage adaptatif



■ Idée :

- Découper l'image en sous-image de manière judicieuse afin d'adapter le seuil à chacune d'entre elles
- Condition de découpage : variance des tons de la sous image (exemple $\sigma < 100$) par exemple
- La taille des sous-images a une grande importance

Aymeric Histace

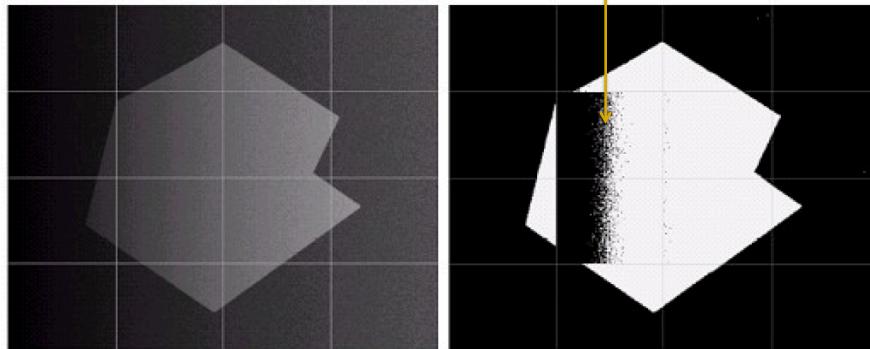
38

Seuillage adaptatif



■ Exemple

Des problèmes subsistes :
bimodalité de la sous image ?



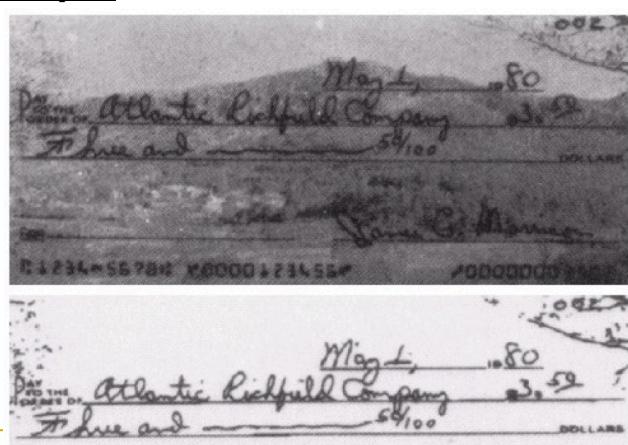
Aymeric Histace

39

Seuillage local adaptatif



■ Exemple



Aymeric Histace

40

Algorithme des K-means



■ Principe :

- On veut diviser les points en k groupes (clusters)
- k est donné à l'avance (un paramètre de l'algorithme)
- On définit le centre d'un groupe comme la moyenne des éléments (pixels) du groupe

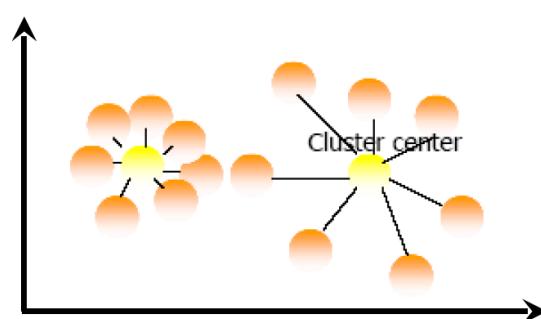
Aymeric Histace

41

Algorithme des K-means



■ Principe :



Aymeric Histace

42

Algorithme des K-means



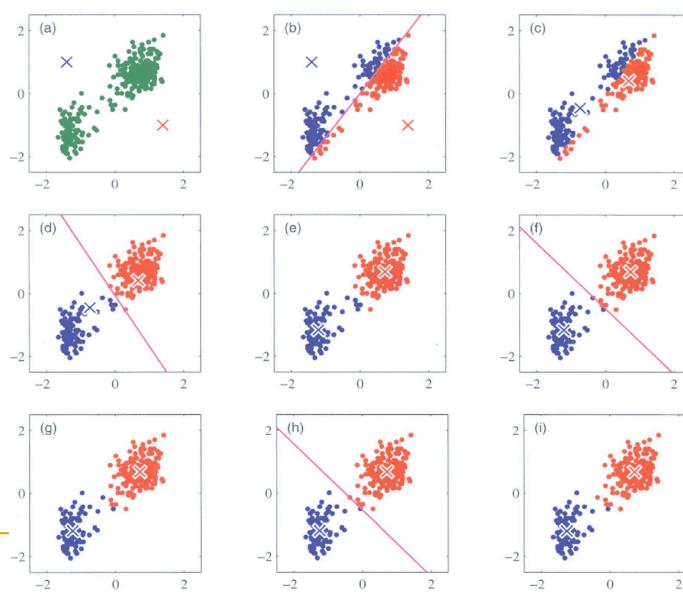
■ Algorithme :

- **1.** Partitionnement des données en k sous-ensembles (non vides)
 - **2.** Calcul des centres des groupes de la partition courante
 - **3.** Les données sont affectées au groupe dont le centre leur est le plus proche (distance)
 - **4.** Retour à l'étape 2
- **Arrêt lorsque les groupes sont ~ constants**

Aymeric Histace

43

Algorithme des K-means



44

Algorithme des K-means

11 clusters



Image source



*K-moyennes
sur l'intensité*



*K-moyennes
sur la couleur*

Aymeric Histace

45

Plan



- 1. Segmentation ?
- 2. Approches statistiques
- 3. **Approches contours**
- 4. Approches régions
- 5. Approches duales
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

46

Approche contours (frontières)



■ Principe

- Se base sur l'extraction des gradients de l'image
- Maximum local de gradient = présence d'un contour
- Seuillage de la carte des gradients

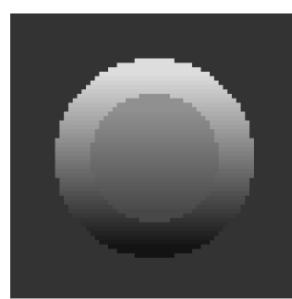
Aymeric Histace

47

Approche contours (frontières)



■ Principe



Norme du gradient



Norme seuillée

Aymeric Histace

48

Approche contours (frontières)



■ En pratique :

- 1. Estimation du gradient en chaque point de l'image
- 2. Extraction des maxima locaux de la norme du gradient dans la direction du gradient
- 3. Sélection des maxima locaux significatifs par seuillage
- 4. Fermeture des contours en traçant les chemins suivant une ligne de crête dans l'image de la norme du gradient

Aymeric Histace

49

Approche contours (frontières)



■ Le seuillage :

- Méthode par hystérésis permettant de limiter la fragmentation des contours obtenus
- Définition de 2 seuils : S_h et S_b
- On garde :
 - les maximums locaux de valeur supérieure à S_h
 - les maximums locaux de valeur supérieure à S_b appartenant à une composante connexe de maximums locaux $\geq S_b$ contenant au moins une valeur $\geq S_h$

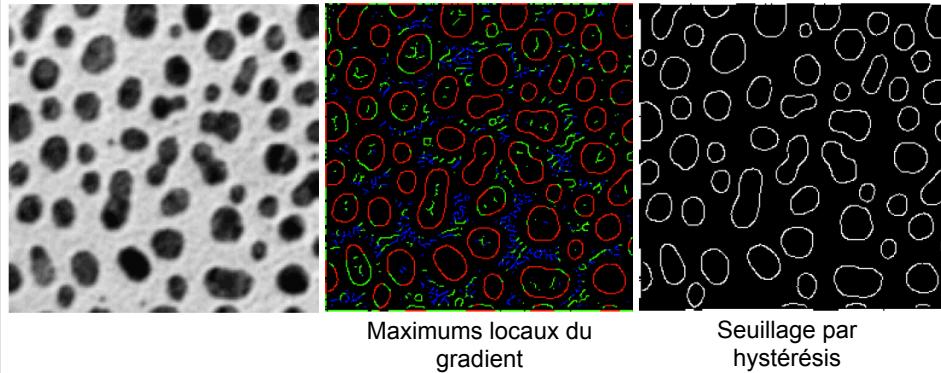
Aymeric Histace

50

Approche contours (frontières)



■ Exemple :



Aymeric Histace

51

Approche contours (frontières)



■ Fermeture des contours

- Idée : suivre une ligne de crête dans l'image de la norme du gradient à partir de chaque extrémité de contour.

□ En pratique :

- Repérer les points « extrémité » (énumération des configurations possibles)
- Choix entre les points candidats : on explore tous les chemins possibles à partir de chaque point candidat.
- Le poids d'un chemin peut être défini comme la somme de la norme du gradient en chacun de ses points.

Aymeric Histace

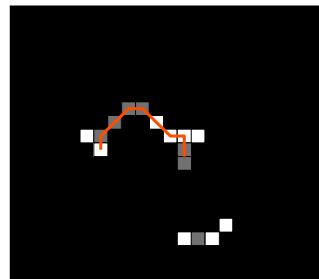
52

Approche contours (frontières)



■ Fermeture des contours

- Idée : suivre une ligne de crête dans l'image de la norme du gradient à partir de chaque extrémité de contour.



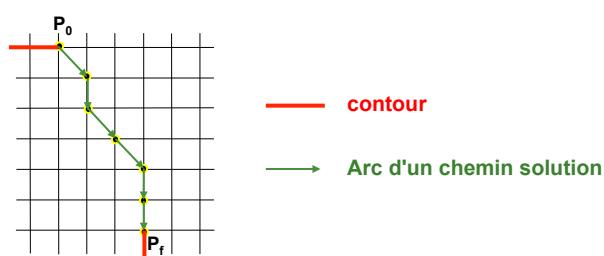
Aymeric Histace

53

Approche contours (frontières)



■ Fermeture des contours



Fermeture du contour = recherche du chemin entre les 2 sommets du graphe associés aux pixels P_0 et P_f

Aymeric Histace

54

Approche contours (frontières)



■ Fermeture des contours (algo)

- Balayage de l'image des éléments essentiels
- Si extrémité, recherche parmi les voisins du meilleur candidat à la fermeture
 - Elaboration de l'arborescence de tous les chemins possibles
 - Attribution à chaque chemin d'un coût = \sum des normes des gradients du chemin
 - Prolongation du contour par le premier point du chemin au plus fort coût (ligne de crête)
- Réitération de l'algorithme à partir de ce nouveau point
- Arrêt de la fermeture si rencontre d'un point de contour ou nombre max d'itérations atteint

Aymeric Histace

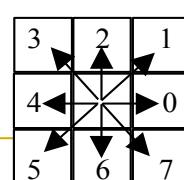
55

Approche contours (frontières)



■ Codage du contour

- La description d'un contour se fait à l'aide d'une structure de données
- Codage le plus simple : le codage de Freeman
 - Caractérise le passage d'un pixel à son successeur
 - La suite des codes locaux donne le codage du contour



Aymeric Histace

56

Plan



- 1. Segmentation ?
- 2. Approche statistique
- 3. Approche contour
- **4. Approche région**
- 5. Approche duale
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

57

Approche région



■ Principe :

- Les régions sont déterminées en fonction de leurs propriétés intrinsèques (agrégation de pixels fonction d'un critère d'homogénéité)
- Avantage : On conserve la connexité entre régions

Aymeric Histace

58

Approche région



■ Principe :

- Méthodes **descendantes** (division)
- Méthodes **ascendantes** (agrégation de pixels ou fusion de régions)
- Méthodes **mixtes** (division- fusion)

Aymeric Histace

59

Approche région



■ 1. Division (split)

- Définition d'un critère d'homogénéité
- Test de la validité du critère sur l'image
- Si le critère est valide, l'image est segmentée [arrêt de la méthode]
- Sinon, l' image est découpée en zones plus petites et la méthode est réappliquée sur chacune des zones

Aymeric Histace

60

Approche région



■ 1. Division (split)

- **Critère d'homogénéité** : forme *a priori* de l'histogramme, *extrema* de l'image (valeurs minimum et maximum), valeurs identiques...
- **Matière** : niveaux de gris, couleurs, textures, etc.
- **Décomposition de l'image** : division en 4, en 6, en polygones, etc.

Aymeric Histace

61

Approche région



■ 1. Division (split)

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

Image initiale

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

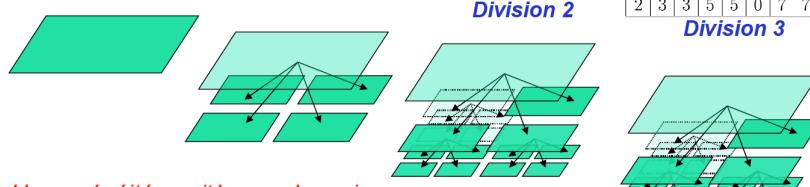
Division 1

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

Division 2

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

Division 3



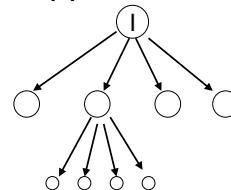
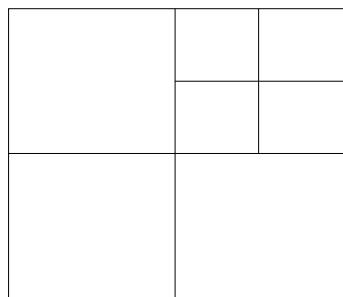
— Homogénéité = critère sur la variance
(ou $\max - \min \leq 1$)

Approche région



■ 1. Division (split)

- Ce type de division est aussi appelée **Quad tree**



Aymeric Histace

63

Approche région



■ 2. Fusion (merge)

- **Méthode locale récursive**
- **Principe** : on fait croître une région avant de passer à la suivante, sans parcours particulier déterminé *a priori* (méthode par agrégation libre de pixels)
- On parle aussi de **croissance de région**

Aymeric Histace

64

Approche région



■ 2. Fusion

- On débute avec un pixel, et on « ajoute » les pixels voisins qui répondent à un critère d'appartenance :
 - Variance faible
 - Niveau de gris répondant un seuil
 - ...

Aymeric Histace

65

Approche région



■ 2. Fusion

- Les pixels initiaux sont appelés «germes», «amorces» ou «semences»
- Choix des pixels initiaux automatiques ou semi-automatiques
- La région « grandit » à partir de son germe
- **Besoin d'un critère (ou prédicat)** pour choisir les pixels à ajouter

Aymeric Histace

66

Approche région



■ 2. Fusion



- On part d'un germe (seed) et on l'étend en ajoutant les pixels voisins (4 connexes, 8-connexes) qui satisfont le critère d'homogénéité
- Le germe peut être choisi soit par un humain, soit de manière automatique en évitant les zones de fort contraste (gradient important)

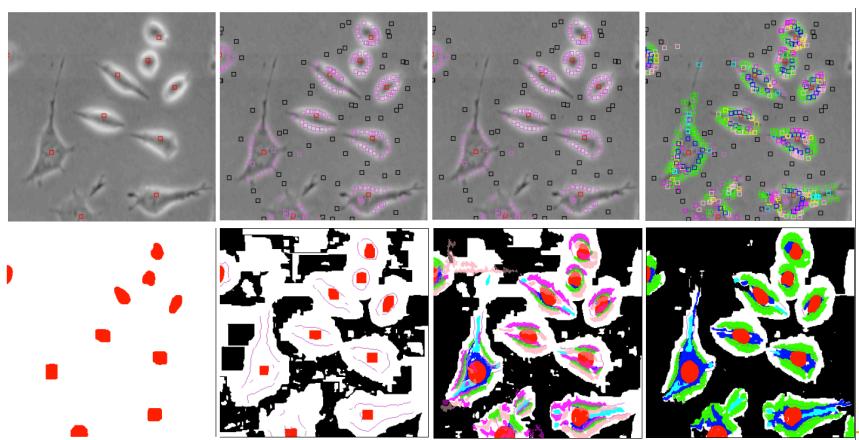
Aymeric Histace

67

Approche région



■ 2. Fusion (avec plusieurs germes)



Aymeric Histace

68

Approche région



■ 3. Division-Fusion (split and merge)

- **Phase 1** : division (de type Quadtree par exemple)
- **Phase 2** : On regroupe les régions adjacentes homogènes (au sens d'un critère donné).

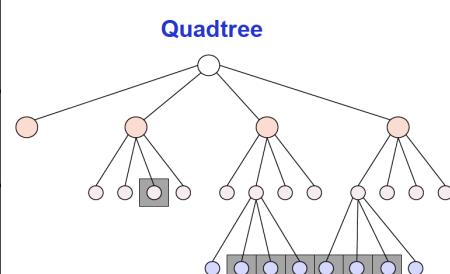
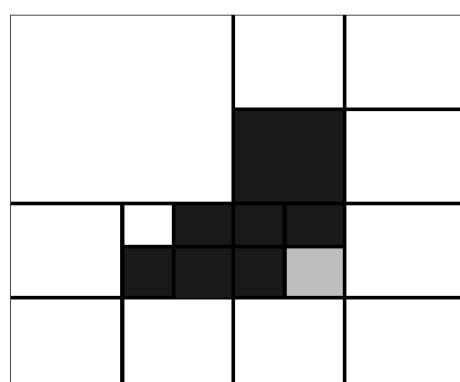
Aymeric Histace

69

Approche région



■ 3. Division-Fusion (split and merge)



Analyse hiérarchique

Aymeric Histace

70

Approche région



■ 3. Division-Fusion (split and merge)



Aymeric Histace

71

Plan



- 1. Segmentation ?
- 2. Approches statistique
- 3. Approches contour
- 4. Approches région
- **5. Approches duales**
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

72

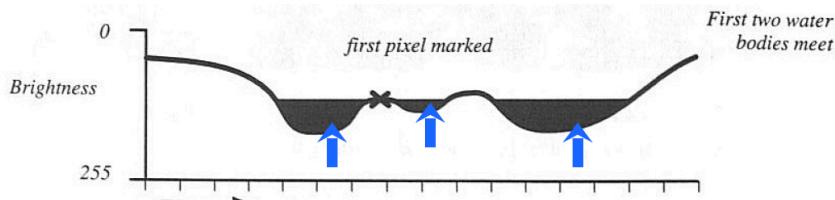
Approche duale



■ La ligne de partage des eaux

- Nécessite :

- la détection des contours, calcul du gradient
- la détection des fonds des bassins : minima locaux



Aymeric Histace

73

Ligne de partage des eaux



■ Principe :

- Méthode issue de la morphologie mathématique
- L'image est considérée comme une surface (terminologie de géographie) :
 - pixels de faible amplitude (faible valeur) = vallée
 - pixels de forte amplitude = crête
- Ligne de partage des eaux = crête formant la limite entre deux bassins versants

Aymeric Histace

74

Ligne de partage des eaux



■ Algorithme d'immersion

Initialisation

- Calcul du gradient
- Recherche des minima locaux du gradient (bassins)
- Affectation d'un étiquette unique à chaque minimum détecté
- Immersion des quatre pixels voisins associés à chaque minimum

TANT qu'il reste des pixels à traiter, FAIRE

- Pour chaque pixel immergé à l'étape précédente : immersion de ses quatre pixels voisins
- Lorsque deux bassins (2 étiquettes différentes) se rejoignent : obtention d'un pixel de ligne de partage des eaux

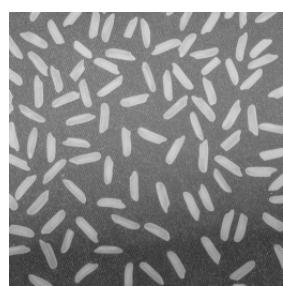
Aymeric Histace

75

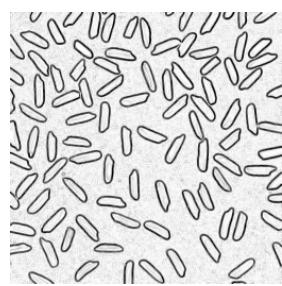
Ligne de partage des eaux



■ Illustration :



Grains de riz



Gradients



LPE

Aymeric Histace

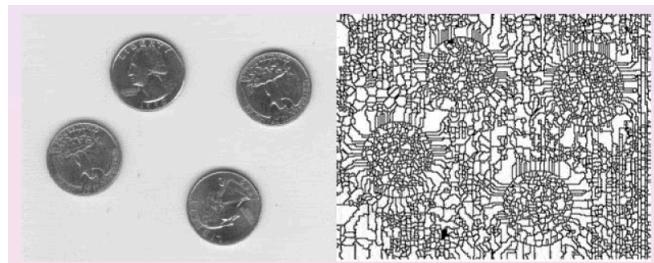
76

Ligne de partage des eaux



■ Inconvénients :

- Sensible au bruit
- Problème de sursegmentation



Aymeric Histace

77

Plan

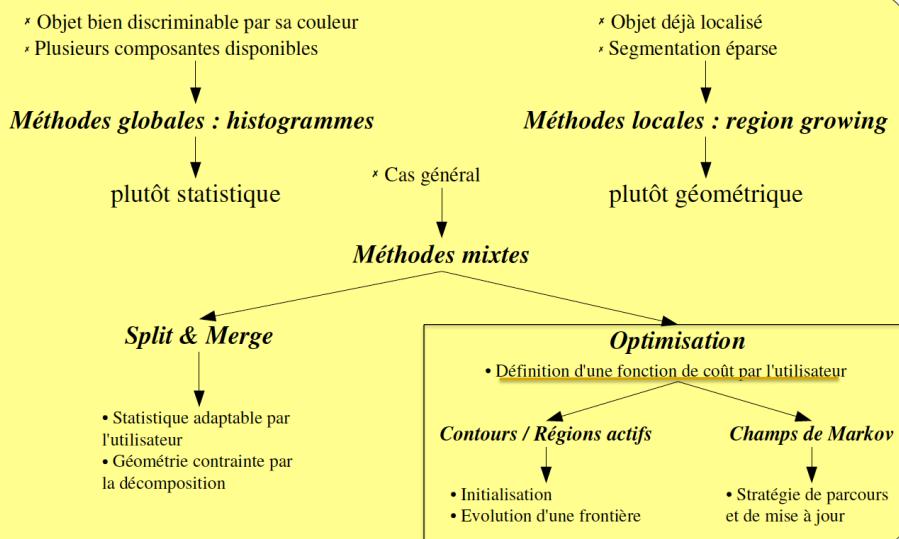


- 1. Segmentation ?
- 2. Approches statistiques
- 3. Approches contour
- 4. Approches région
- 5. Approches duales
- 6. Conclusion

Aymeric Histace

78

Conclusion



Conclusion



■ Approches variationnelles

- La segmentation peut se définir comme la minimisation d'une fonctionnelle énergétique dont le minimum correspond au résultat de segmentation

$$K(I, f, R, \Gamma) = \mu^r \sum_{i \in P} \iint_{R_i} (I(x, y) - f_i(x, y))^r dx dy + \sum_{i \in P} \iint_{R_i} \|\nabla f_i(x, y)\|^r dx dy + \nu \sum_{j \in Q} \int_{\Gamma_j} dl$$

↑
Attaches aux données
↑
Terme de régularité
↑
Terme de simplicité géométrique

Conclusion



■ Approches variationnelles

- Problème : comment déterminer ce minimum...
- C'est l'objectif du prochain chapitre !!!