

Opérations et Algorithmes pour la Segmentation Topologique d'Images 3D

Alexandre Dupas

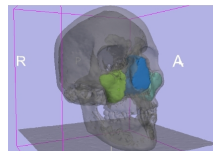
Thèse dirigée par Guillaume Damiand et Pascal Lienhardt

Laboratoire XLIM-SIC, Université de Poitiers

25 Novembre 2009

Contexte

- traitement d'images 3D
 - géologie, médecine
- segmentation



Besoins

- représentation des zones homogènes d'une image
- opérations de manipulation
- importances des informations topologiques
 - adjacence, imbrication, tunnels



Cadre et objectifs

Cartes topologiques 3D

- représente les zones homogènes d'une image
- intègre les informations topologiques
- manque d'opérations

Objectifs

- opérations sur le modèle topologique
 - fusion de régions, calcul de caractéristiques topologiques, ...
- segmentation d'images
 - permettant la prise en compte de la topologie

Représentation des images

- Image 3D et partition en régions

- Modèles topologiques

- Carte topologique 3D

Opérations de modification

- Fusion de régions

- Division et éclatement d'une région

- Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

- Première approche par fusion de régions

- Intégration d'un critère topologique

- Chaîne de traitement complète

Conclusion

Représentation des images

- Image 3D et partition en régions

- Modèles topologiques

- Carte topologique 3D

Opérations de modification

- Fusion de régions

- Division et éclatement d'une région

- Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

- Première approche par fusion de régions

- Intégration d'un critère topologique

- Chaîne de traitement complète

Conclusion

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

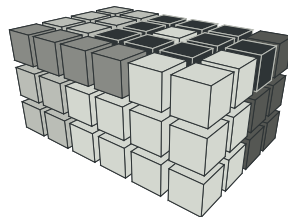
Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

Image 3D

- **image 3d** : grille de voxels
- **voxel** : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



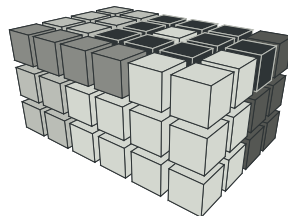
k-adjacence

- 6-adjacents
- 18-adjacents
- 26-adjacents

→ *k*-connexité, *k*-voisinage

Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



k-adjacence

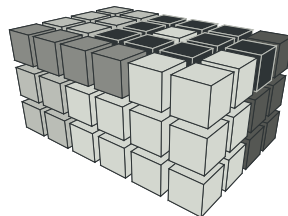
- 6-adjacents
- 18-adjacents
- 26-adjacents

→ *k*-connexité, *k*-voisinage



Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



k-adjacence

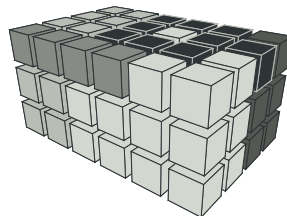
- 6-adjacents
- 18-adjacents
- 26-adjacents

→ *k*-connexité, *k*-voisinage



Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



k-adjacence

- 6-adjacents
- 18-adjacents
- 26-adjacents

→ *k*-connexité, *k*-voisinage

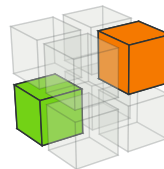
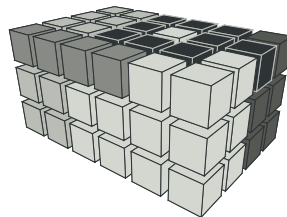


Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



k-adjacence

- 6-adjacents
- 18-adjacents
- 26-adjacents

→ *k*-connexité, *k*-voisinage

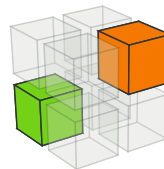
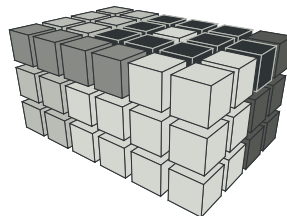


Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



Éléments intervoxels

- voxel
- surfel
- lignel
- pointel

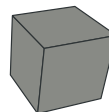
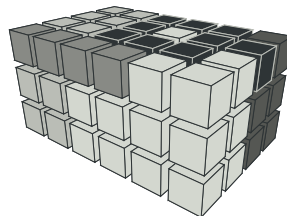


Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



Éléments intervoxels

- voxel
- surfel
- lignel
- pointel

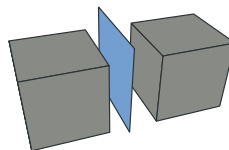
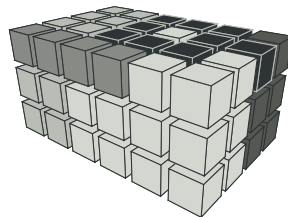


Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



Éléments intervoxels

- voxel
- surfel
- **lignel**
- pointel

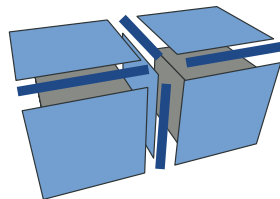
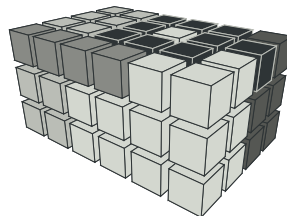


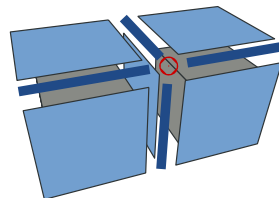
Image 3D

- image 3d : grille de voxels
- voxel : élément de volume
 - valeur intensité ou couleur
- relations
- intervoxel



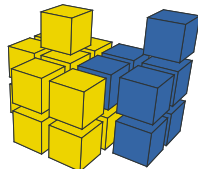
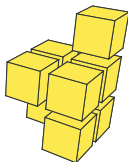
Éléments intervoxels

- voxel
- surfel
- lignel
- **pointel**

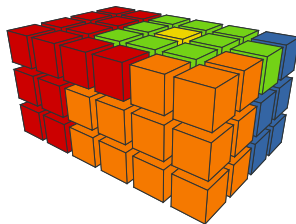
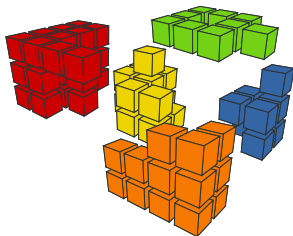


Partition en régions

- **région** : ensemble homogène maximal 6-connexe de voxels



- **partition** : ensemble des régions = image



Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

Graphe d'Adjacence des Régions (RAG)

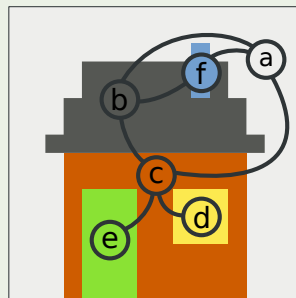
Graphe :

- sommet \leftrightarrow région
- arête \leftrightarrow adjacence

Problèmes

- multiadjacence
- imbrication

Exemple



Comparaison des modèles

	2D	3D	M	I	R	O	
RAG	✓	✓				✓	[Rosenfeld, 1970]
Graphes Duaux	✓		✓	✓	✓		[Kropatch et Macho, 1995]
TGF	✓		✓	✓	✓		[Fiorio, 1995]
GeoMap	✓		✓	✓	✓	✓	[Meine et Köthe, 2005]
Cartes discrètes	✓	✓	✓	✓		✓	[Braquelaire et Domenger, 1996]
Cartes Topologiques	✓	✓	✓	✓	✓		[Damiand, 2001]

M multi-adjacence entre régions

R représentation de toutes partitions

I imbrication de régions

O opérations de manipulation

Modèles définis en 3D :

- Cartes discrètes :
 - opérations de division/fusion
- Cartes topologiques :
 - manque des opérations

[Braquelaire et al., 2001]

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

Carte topologique 3D

Objectifs

modèle représente :

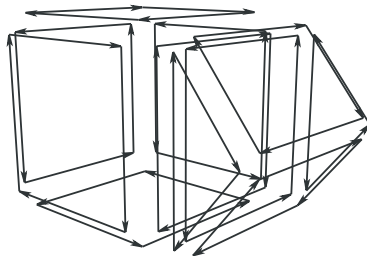
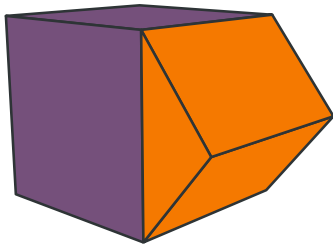
- cellules de la subdivision
- relations d'adjacences et d'imbrications

⇒ améliorer les traitements d'images

Solutions

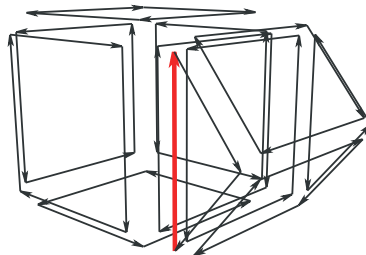
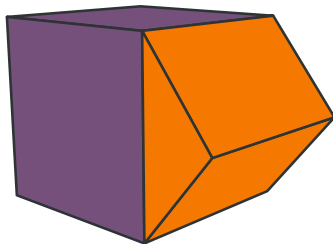
- **carte combinatoire minimale** ↔ cellules et relations
- **matrice intervoxel** ↔ géométrie des cellules
- **arbre de régions** ↔ relation d'imbrication

Carte combinatoire 3D



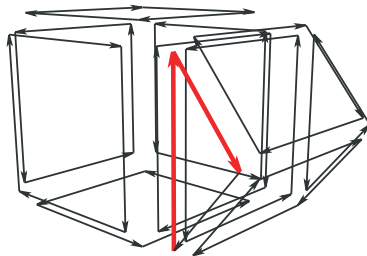
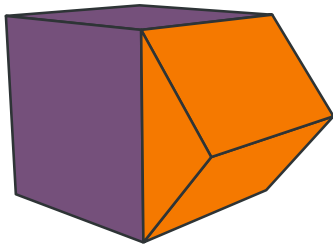
- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

Carte combinatoire 3D



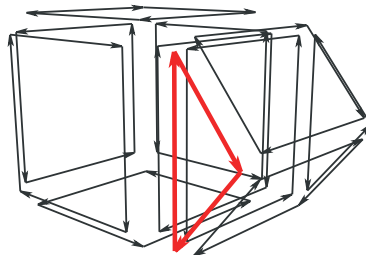
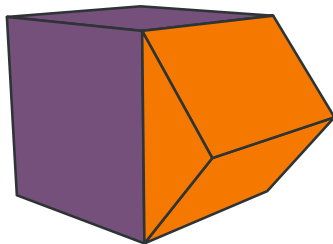
- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

Carte combinatoire 3D



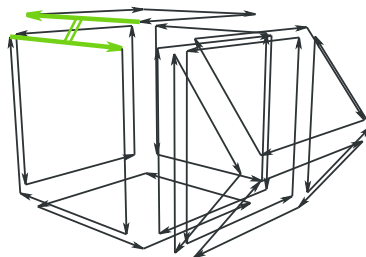
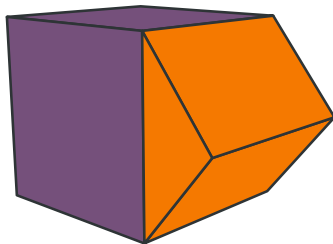
- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

Carte combinatoire 3D



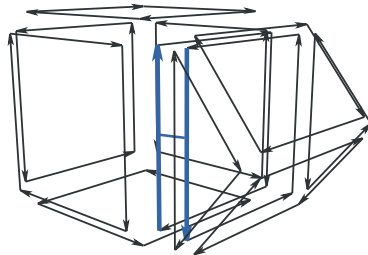
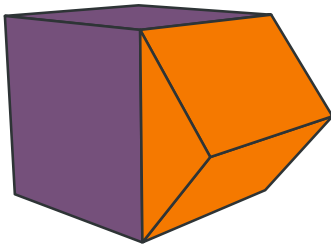
- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

Carte combinatoire 3D



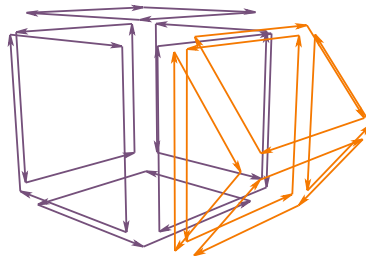
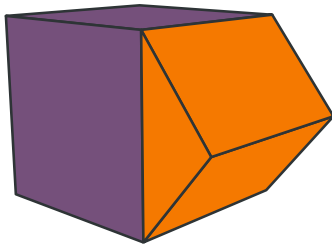
- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

Carte combinatoire 3D



- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

Carte combinatoire 3D



- Une permutation
 - β_1 : brin \rightarrow brin de la même face et du même volume
- Deux involutions
 - β_2 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et du même volume
 - β_3 : brin \leftrightarrow brin de la même arête et de la même face

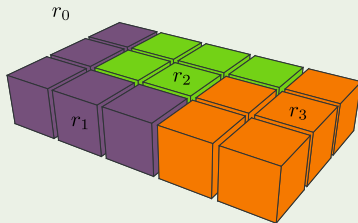
Carte combinatoire minimale

⇒ nombre minimum de cellules

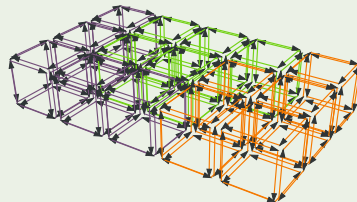
Définition progressive :

- niveaux de simplifications
- suppression de cellules

Niveau 0 : carte complète



image



niveau 0

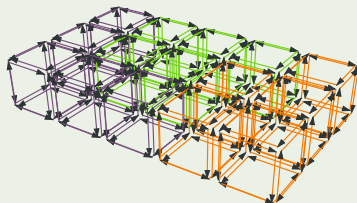
Carte combinatoire minimale

⇒ nombre minimum de cellules

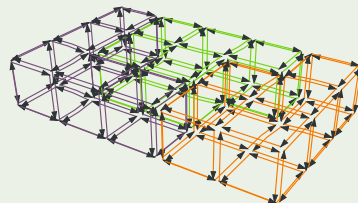
Définition progressive :

- niveaux de simplifications
- suppression de cellules

Niveau 1 : suppression des faces



niveau 0



niveau 1

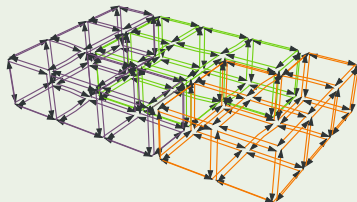
Carte combinatoire minimale

⇒ nombre minimum de cellules

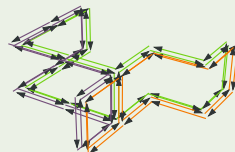
Définition progressive :

- niveaux de simplifications
- suppression de cellules

Niveau 2 : suppression des arêtes



niveau 1



niveau 2

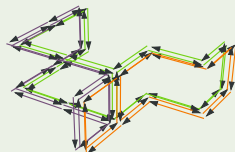
Carte combinatoire minimale

⇒ nombre minimum de cellules

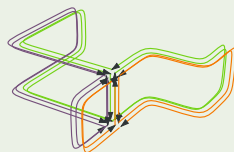
Définition progressive :

- niveaux de simplifications
- suppression de cellules

Niveau 3 : suppression des sommets



niveau 2

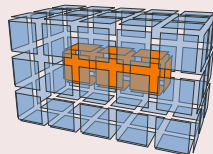
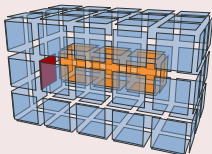


niveau 3

Problèmes de déconnexions

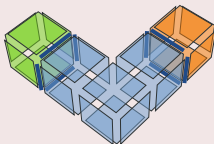
Niveau 0 → Niveau 1

déconnexions de surfaces → arbre d'imbrication



Niveau 1 → Niveau 2

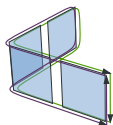
déconnexions de faces → arêtes fictives



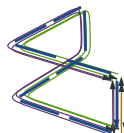
bords déconnectés

arête fictive

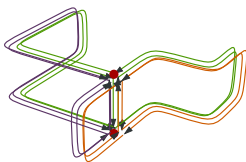
Plongement géométrique des cellules



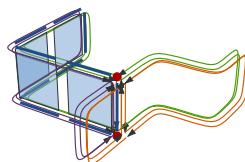
face \rightarrow 4 surfels



2 arêtes \rightarrow 10 lignels



2 sommets \rightarrow 2 pointels



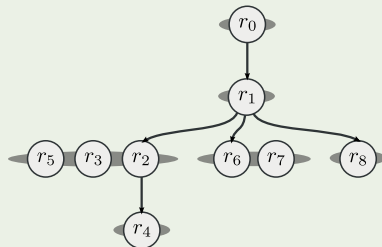
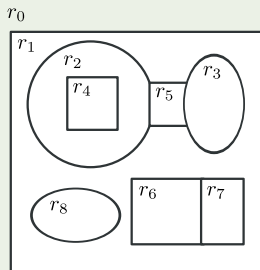
face et son bord

Arbre des régions

Représente la relation d'imbrication :

- noeud \leftrightarrow région
- arête \leftrightarrow imbrication
- regroupement en composantes 18-connexes

Exemple avec une image 2D



Exemple de carte topologique

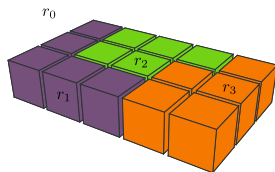
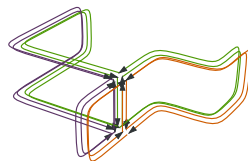
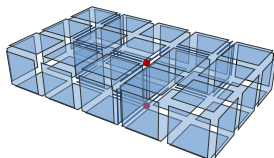


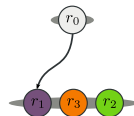
image 3D



carte combinatoire minimale



matrice intervoxel



arbre d'imbrication

Opérations existantes et besoins

Opérations existantes :

- extraction à partir d'une image
- construction de l'arbre d'imbrication
- simplifications

Besoins

Définir les opérations permettant :

- modifications de haut-niveau (fusion de régions,...)
- calcul de caractéristiques topologiques
- segmentation

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

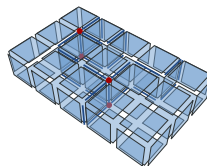
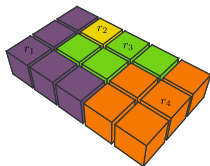
Approche 1 : fusion locale

Principe :

- un ensemble 6-connexe de régions
- modifications locales du modèle

Algorithme

- marquage des faces intérieures
- mise à jour de l'arbre d'imbrication
- suppression des faces intérieures
- simplifications



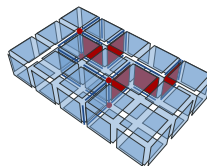
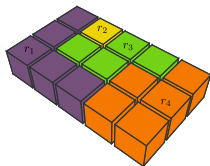
Approche 1 : fusion locale

Principe :

- un ensemble 6-connexe de régions
- modifications locales du modèle

Algorithme

- marquage des faces intérieures
- mise à jour de l'arbre d'imbrication
- suppression des faces intérieures
- simplifications



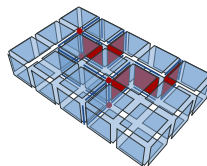
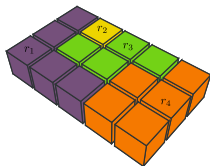
Approche 1 : fusion locale

Principe :

- un ensemble 6-connexe de régions
- modifications locales du modèle

Algorithme

- marquage des faces intérieures
- mise à jour de l'arbre d'imbrication
- suppression des faces intérieures
- simplifications



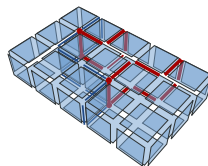
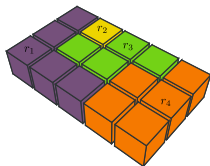
Approche 1 : fusion locale

Principe :

- un ensemble 6-connexe de régions
- modifications locales du modèle

Algorithme

- marquage des faces intérieures
- mise à jour de l'arbre d'imbrication
- suppression des faces intérieures
- simplifications



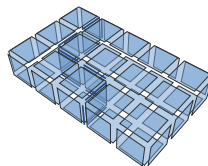
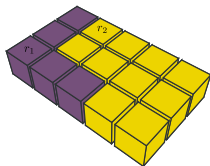
Approche 1 : fusion locale

Principe :

- un ensemble 6-connexe de régions
- modifications locales du modèle

Algorithme

- marquage des faces intérieures
- mise à jour de l'arbre d'imbrication
- suppression des faces intérieures
- simplifications



Approche 1 : fusion locale

Principe :

- un ensemble 6-connexe de régions
- modifications locales du modèle

Algorithme

- marquage des faces intérieures
- mise à jour de l'arbre d'imbrication
- suppression des faces intérieures
- simplifications

Complexité : dépend de la taille des régions à fusionner

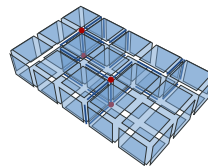
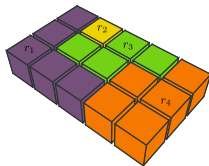
Approche 2 : fusion globale

Principe :

- **plusieurs** ensembles 6-connexes de régions
- modifications globales du modèle

Algorithme

- utiliser ensembles disjoints de régions : fusion symbolique
- supprimer les faces intérieures à chaque ensemble
- simplifier la carte topologique
- construire l'arbre d'imbrication



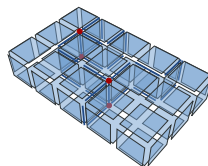
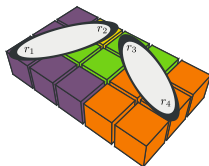
Approche 2 : fusion globale

Principe :

- **plusieurs** ensembles 6-connexes de régions
- modifications globales du modèle

Algorithme

- utiliser ensembles disjoints de régions : **fusion symbolique**
- supprimer les faces intérieures à chaque ensemble
- simplifier la carte topologique
- construire l'arbre d'imbrication



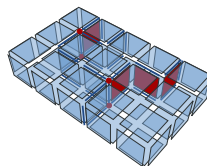
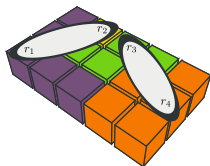
Approche 2 : fusion globale

Principe :

- **plusieurs** ensembles 6-connexes de régions
- modifications globales du modèle

Algorithme

- utiliser ensembles disjoints de régions : **fusion symbolique**
- supprimer les faces intérieures à chaque ensemble
- simplifier la carte topologique
- construire l'arbre d'imbrication



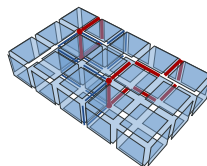
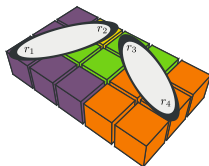
Approche 2 : fusion globale

Principe :

- **plusieurs** ensembles 6-connexes de régions
- modifications globales du modèle

Algorithme

- utiliser ensembles disjoints de régions : **fusion symbolique**
- supprimer les faces intérieures à chaque ensemble
- simplifier la carte topologique
- construire l'arbre d'imbrication



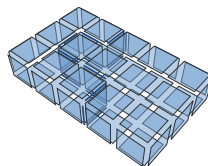
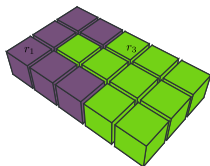
Approche 2 : fusion globale

Principe :

- **plusieurs** ensembles 6-connexes de régions
- modifications globales du modèle

Algorithme

- utiliser ensembles disjoints de régions : **fusion symbolique**
- supprimer les faces intérieures à chaque ensemble
- simplifier la carte topologique
- construire l'arbre d'imbrication



Approche 2 : fusion globale

Principe :

- **plusieurs** ensembles 6-connexes de régions
- modifications globales du modèle

Algorithme

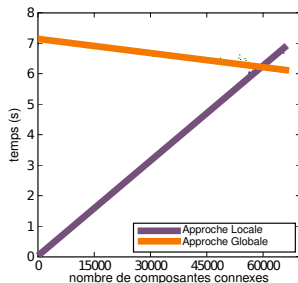
- utiliser ensembles disjoints de régions : **fusion symbolique**
- supprimer les faces intérieures à chaque ensemble
- simplifier la carte topologique
- construire l'arbre d'imbrication

Complexité : dépend de la taille de l'image

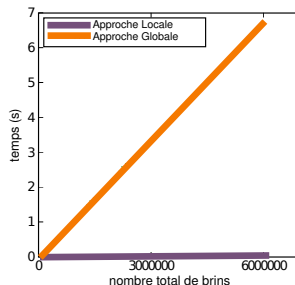
Comparaison temporelle des deux approches

- images artificielles

nombre d'ensembles



taille de l'image



- images réelles

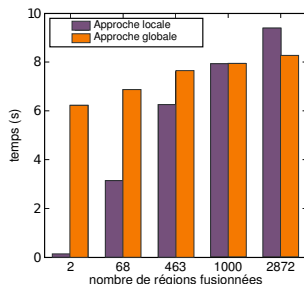
Bilan :

- approche locale : utilisation interactive
- approche globale : utilisation automatisée

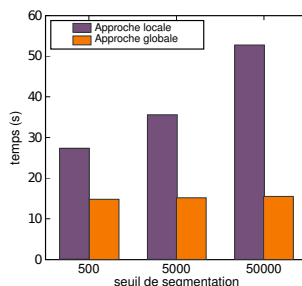
Comparaison temporelle des deux approches

- images artificielles
- images réelles

sélection manuelle



segmentation par fusion



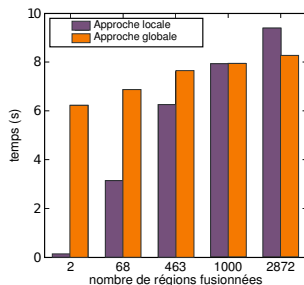
Bilan :

- approche locale : utilisation interactive
- approche globale : utilisation automatisée

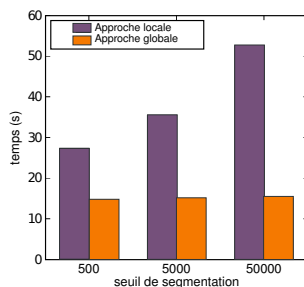
Comparaison temporelle des deux approches

- images artificielles
- images réelles

sélection manuelle



segmentation par fusion



Bilan :

- approche locale : utilisation interactive
- approche globale : utilisation automatisée

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

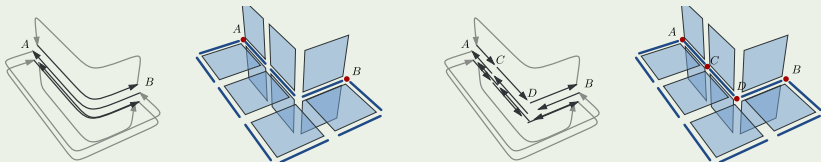
Éclatement d'une région en voxels (1/3)

- **objectif** : obtenir une région par voxel de la région initiale
- **principe** : éclater les cellules de la région
 - cellules élémentaires : plongement = un élément intervoxel

Éclatement d'une arête

- ajouter un sommet entre chaque ligne de l'arête
⇒ arêtes élémentaires

Exemple : éclatement de l'arête AB

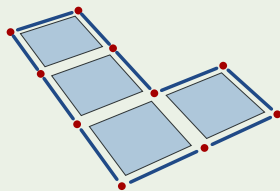
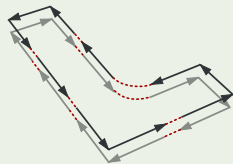


Éclatement d'une région en voxels (2/3)

Éclatement d'une face

- ajouter des arêtes pendantes dans la face entre les surfels
- relier les arêtes pendantes autour des sommets
⇒ faces élémentaires

Exemple : éclatement d'une face

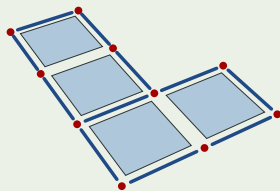
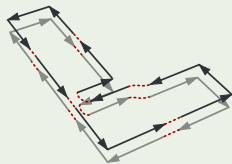


Éclatement d'une région en voxels (2/3)

Éclatement d'une face

- ajouter des arêtes pendantes dans la face entre les surfels
- relier les arêtes pendantes autour des sommets
⇒ faces élémentaires

Exemple : éclatement d'une face

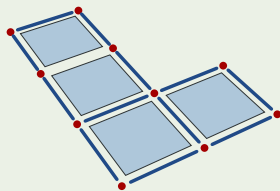
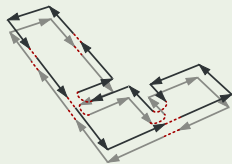


Éclatement d'une région en voxels (2/3)

Éclatement d'une face

- ajouter des arêtes pendantes dans la face entre les surfels
- relier les arêtes pendantes autour des sommets
⇒ faces élémentaires

Exemple : éclatement d'une face

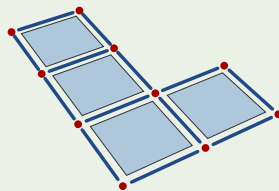
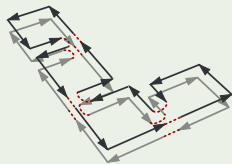


Éclatement d'une région en voxels (2/3)

Éclatement d'une face

- ajouter des arêtes pendantes dans la face entre les surfels
- relier les arêtes pendantes autour des sommets
⇒ faces élémentaires

Exemple : éclatement d'une face

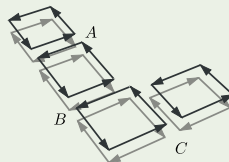
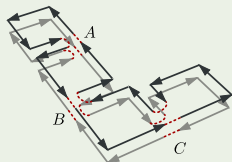


Éclatement d'une région en voxels (2/3)

Éclatement d'une face

- ajouter des arêtes pendantes dans la face entre les surfels
- relier les arêtes pendantes autour des sommets
⇒ faces élémentaires

Exemple : éclatement d'une face

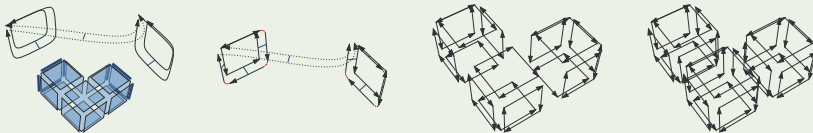


Éclatement d'une région en voxels (3/3)

Éclatement d'un volume : similaire éclatement d'une face

- ajouter des faces pendantes dans le volume entre les voxels
- relier les faces pendantes autour des arêtes
⇒ volumes élémentaires

Exemple : étapes jusqu'à l'éclatement du volume

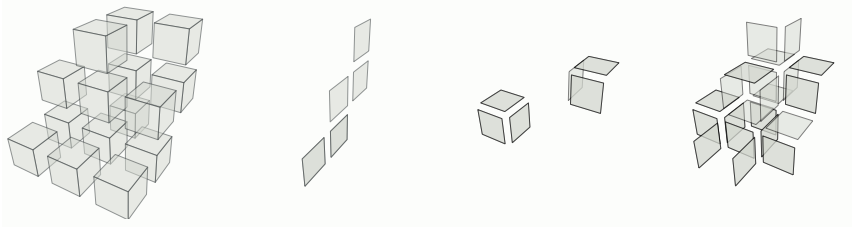


- **finaliser :**
 - créer une région par volume
 - simplifier et construire l'arbre d'imbrication

Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région

3 exemples de guides

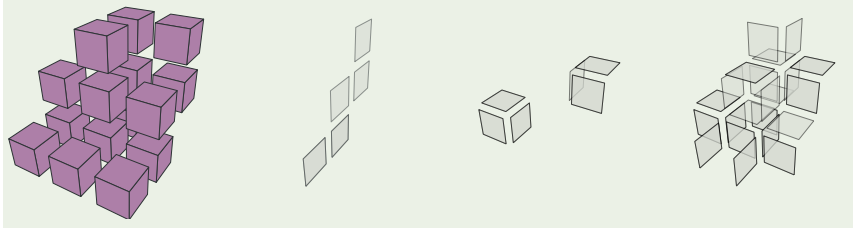


- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région

3 exemples de guides

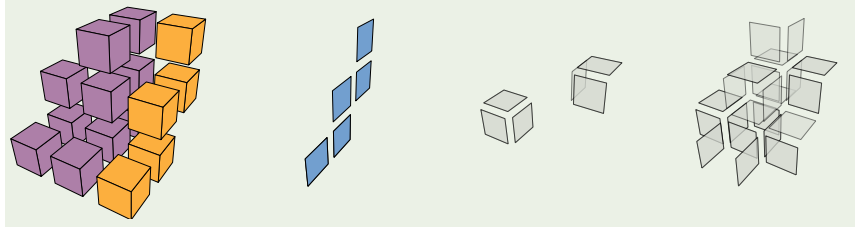


- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région

3 exemples de guides

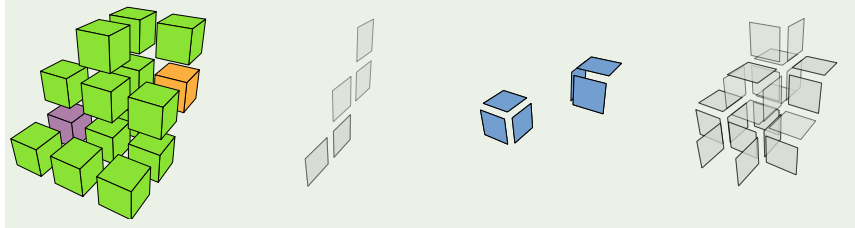


- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région

3 exemples de guides

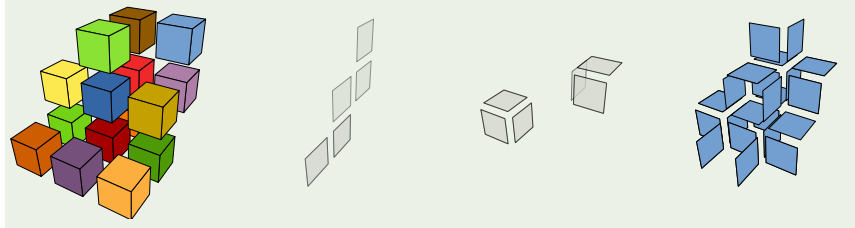


- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région

3 exemples de guides

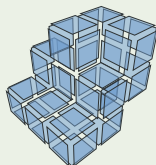


- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région
- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

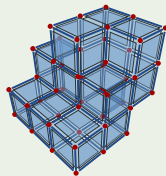
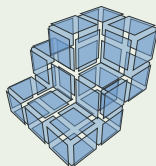
Exemple de division par un guide



Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région
- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

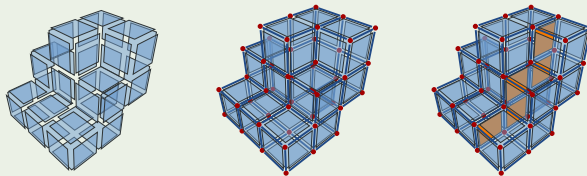
Exemple de division par un guide



Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région
- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

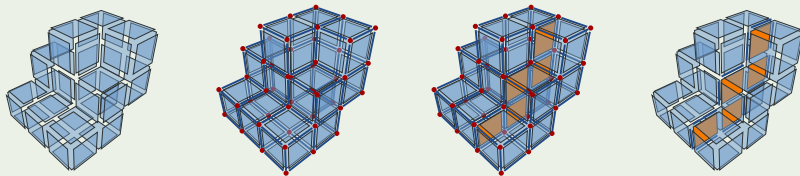
Exemple de division par un guide



Division d'une région par un guide

- **objectif** : éviter l'éclatement du volume
- **guide** : ensemble de surfels divisant la région
- **principe** :
 - éclater arêtes et faces de la région
 - intégrer le guide \Rightarrow nouvelles régions
 - simplifier et mettre à jour l'arbre des régions

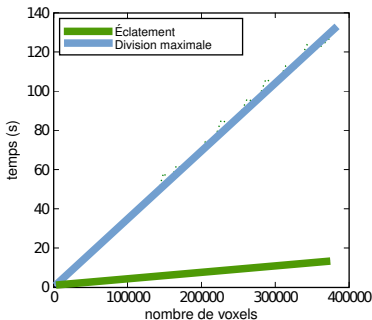
Exemple de division par un guide



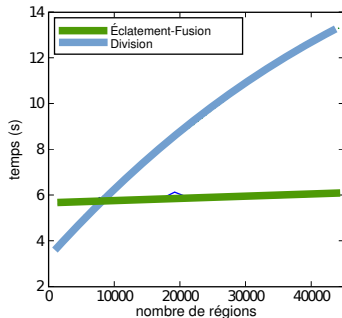
Comparaison temporelle des deux approches

- images artificielles

éclatement en voxels



découpe selon partition



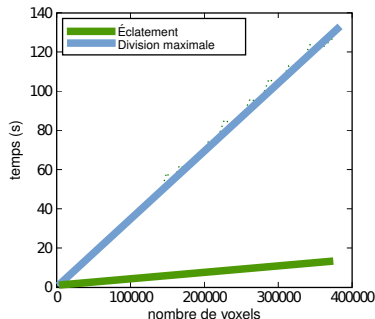
Bilan :

- éclatement : plus rapide, plus de cellules
 - généralement suivi par fusion de régions
- division par guide : moins rapide, moins de cellules

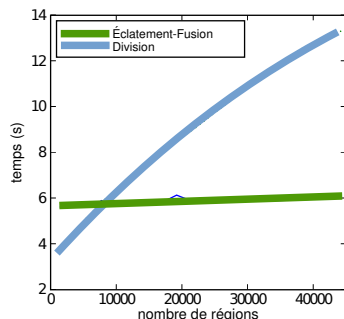
Comparaison temporelle des deux approches

- images artificielles

éclatement en voxels



découpe selon partition



Bilan :

- éclatement : plus rapide, plus de cellules
 - généralement suivi par fusion de régions
- division par guide : moins rapide, moins de cellules

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

Déformation d'une partition

- énergie guide la déformation des surfaces
- contrôle de la topologie ?

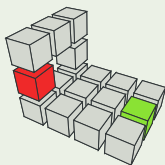
⇒ Point simple

[Rosenfeld, 1970]

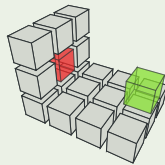
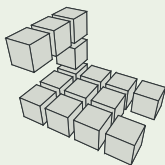
peut être ajouté ou retiré à un objet sans changer sa topologie

→ pas adapté aux partitions multirégions

Exemples de voxels simples et non-simples



retrait



ajout

Déformation d'une partition

- énergie guide la déformation des surfaces
- contrôle de la topologie ?

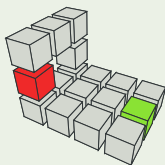
⇒ Point simple

[Rosenfeld, 1970]

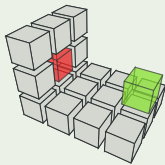
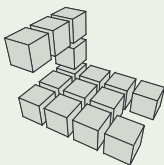
peut être ajouté ou retiré à un objet sans changer sa topologie

→ pas adapté aux partitions multirégions

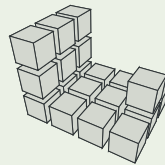
Exemples de voxels simples et non-simples



retrait



ajout



Déformation d'une partition

- énergie guide la déformation des surfaces
- contrôle de la topologie ?

⇒ Point simple

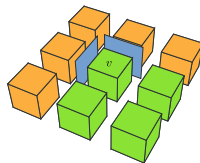
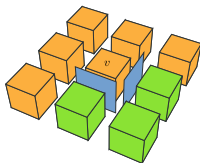
[Rosenfeld, 1970]

peut être ajouté ou retiré à un objet sans changer sa topologie

→ pas adapté aux partitions multirégions

⇒ Point simple multilabel

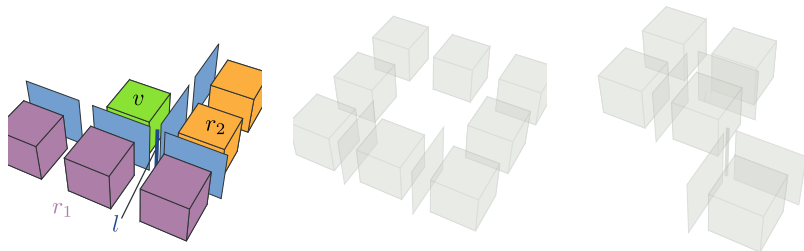
peut être basculé sans changer la topologie de la partition



Caractérisation d'un point simple multilabel

v est multilabel simple si

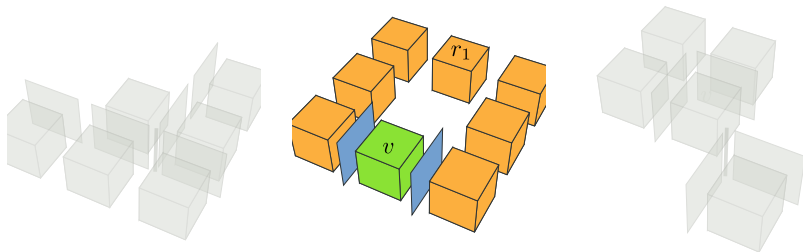
1. degré lignels incidents ≤ 2
 \Rightarrow interdit déformation des arêtes
2. surfels frontières incidents forment un disque topologique
 \Rightarrow interdit ajout/suppression tunnels et cavités
3. degré lignal incident $l = 2 \Rightarrow \exists s$ incident à v et l
 \Rightarrow interdit nouvelle 18-adjacence



Caractérisation d'un point simple multilabel

v est multilabel simple si

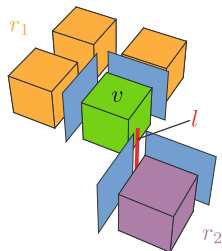
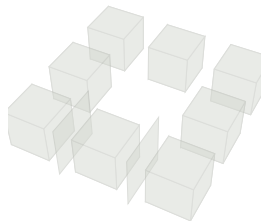
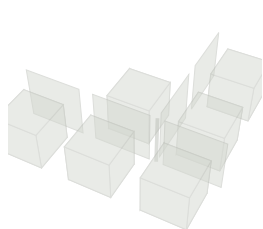
1. degré lignels incidents ≤ 2
 \Rightarrow interdit déformation des arêtes
2. surfels frontières incidents forment un disque topologique
 \Rightarrow interdit ajout/suppression tunnels et cavités
3. degré linsel incident $\neq 2 \Rightarrow \exists s$ incident à v et l
 \Rightarrow interdit nouvelle 18-adjacence



Caractérisation d'un point simple multilabel

v est multilabel simple si

1. degré lignels incidents ≤ 2
 \Rightarrow interdit déformation des arêtes
2. surfels frontières incidents forment un disque topologique
 \Rightarrow interdit ajout/suppression tunnels et cavités
3. degré linsel incident $l = 2 \Rightarrow \exists s$ incident à v et l
 \Rightarrow interdit nouvelle 18-adjacence



Expérimentations

énergies : image (MSE) et aire (estimation plan discret)

- segmentation d'images IRM cérébrales :
 - sphères imbriquées [Miri et al., 08]
 - version généralisée
- segmentation d'images TEP d'une tumeur cérébrale :
 - version avec intersection de surfaces

Expérimentations

énergies : image (MSE) et aire (estimation plan discret)

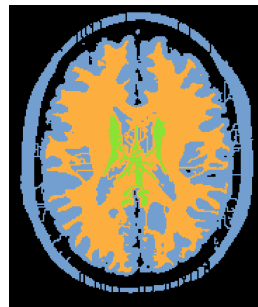
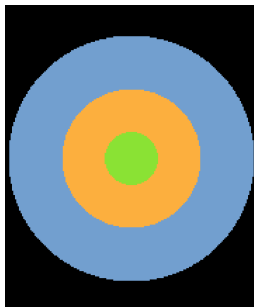
- segmentation d'images IRM cérébrales :

- sphères imbriquées
- version généralisée

[Miri et al., 08]

- segmentation d'images TEP d'une tumeur cérébrale :

- version avec intersection de surfaces

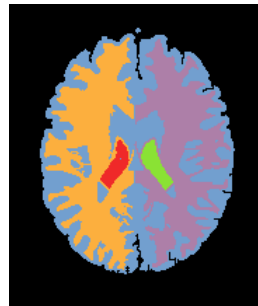
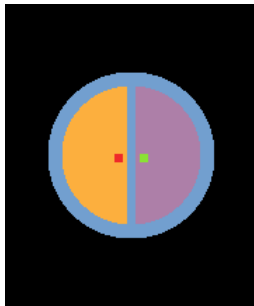


Expérimentations

énergies : image (MSE) et aire (estimation plan discret)

- segmentation d'images IRM cérébrales :
 - sphères imbriquées
 - **version généralisée**
- segmentation d'images TEP d'une tumeur cérébrale :
 - version avec intersection de surfaces

[Miri et al., 08]

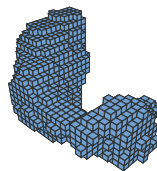
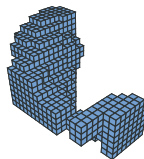
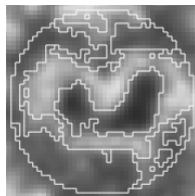
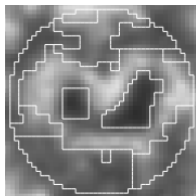


Expérimentations

énergies : image (MSE) et aire (estimation plan discret)

- segmentation d'images IRM cérébrales :
 - sphères imbriquées
 - version généralisée
- segmentation d'images TEP d'une tumeur cérébrale :
 - **version avec intersection de surfaces**

[Miri et al., 08]



Représentation des images

- Image 3D et partition en régions

- Modèles topologiques

- Carte topologique 3D

Opérations de modification

- Fusion de régions

- Division et éclatement d'une région

- Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

- Première approche par fusion de régions

- Intégration d'un critère topologique

- Chaîne de traitement complète

Conclusion

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

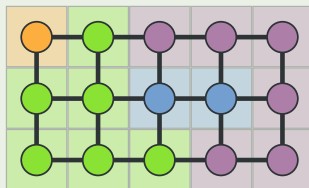
Critère de contraste

[Felzenswalb et Huttenlocher, 1998]

Algorithme basé sur représentation par graphe : $G = (S, A)$

- **contraste interne** : $Int(r) = \max_{a \in MST(r,A)} Poids(a)$
- **contraste externe** : $Ext(r_1, r_2) = \min_{s_i \in r_1, s_j \in r_2, (s_i, s_j) \in A} Poids((s_i, s_j))$
- **critère fusion** : $Ext(r_1, r_2) \leq \min(Int(r_1) + \tau(r_1), Int(r_2) + \tau(r_2))$

Exemple



- $Int(r_1) = 10, Int(r_2) = 11$
- $Ext(r_1, r_2) = 9$
- $Ext(r_1, r_2) \leq Int(r_1) \Rightarrow$ fusion

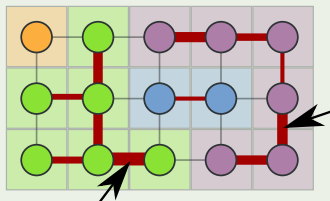
Critère de contraste

[Felzenswalb et Huttenlocher, 1998]

Algorithme basé sur représentation par graphe : $G = (S, A)$

- **contraste interne** : $Int(r) = \max_{a \in MST(r,A)} Poids(a)$
- **contraste externe** : $Ext(r_1, r_2) = \min_{s_i \in r_1, s_j \in r_2, (s_i, s_j) \in A} Poids((s_i, s_j))$
- **critère fusion** : $Ext(r_1, r_2) \leq \min(Int(r_1) + \tau(r_1), Int(r_2) + \tau(r_2))$

Exemple



- $Int(r_1) = 10$, $Int(r_2) = 11$
- $Ext(r_1, r_2) = 9$
- $Ext(r_1, r_2) \leq Int(r_1) \Rightarrow$ fusion

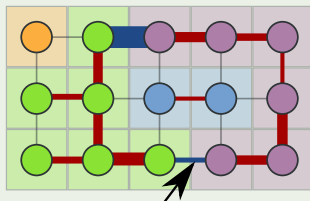
Critère de contraste

[Felzenswalb et Huttenlocher, 1998]

Algorithme basé sur représentation par graphe : $G = (S, A)$

- **contraste interne** : $Int(r) = \max_{a \in MST(r,A)} Poids(a)$
- **contraste externe** : $Ext(r_1, r_2) = \min_{s_i \in r_1, s_j \in r_2, (s_i, s_j) \in A} Poids((s_i, s_j))$
- **critère fusion** : $Ext(r_1, r_2) \leq \min(Int(r_1) + \tau(r_1), Int(r_2) + \tau(r_2))$

Exemple



- $Int(r_1) = 10$, $Int(r_2) = 11$
- $Ext(r_1, r_2) = 9$
- $Ext(r_1, r_2) \leq Int(r_1) \Rightarrow$ fusion

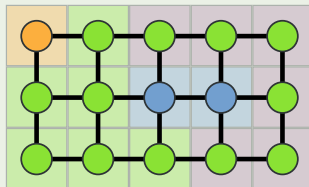
Critère de contraste

[Felzenswalb et Huttenlocher, 1998]

Algorithme basé sur représentation par graphe : $G = (S, A)$

- **contraste interne** : $Int(r) = \max_{a \in MST(r,A)} Poids(a)$
- **contraste externe** : $Ext(r_1, r_2) = \min_{s_i \in r_1, s_j \in r_2, (s_i, s_j) \in A} Poids((s_i, s_j))$
- **critère fusion** : $Ext(r_1, r_2) \leq \min(Int(r_1) + \tau(r_1), Int(r_2) + \tau(r_2))$

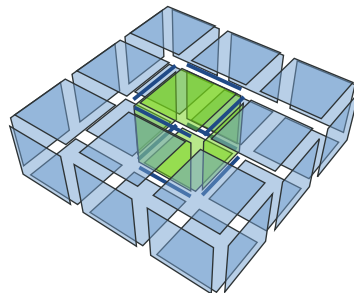
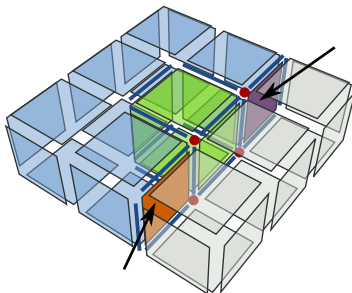
Exemple



- $Int(r_1) = 10$, $Int(r_2) = 11$
- $Ext(r_1, r_2) = 9$
- $Ext(r_1, r_2) \leq Int(r_1) \Rightarrow$ fusion

Adaptation aux cartes topologiques

- association du contraste :
 - interne aux régions
 - externe aux faces
- traiter les faces par ordre croissant
- critère de contraste pour diriger la fusion symbolique
- application de la fusion globale

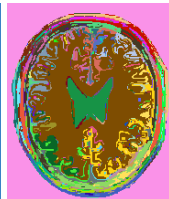
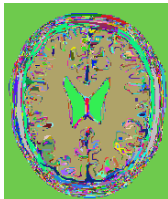
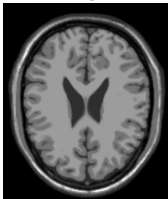


Résultats

- images 2D : identique à la méthode originale



- images 3D : IRM cérébral



Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

Intégration d'un critère topologique

- domaine → connaissances de propriétés topologiques
 - **surface corticale ne contient pas de tunnels**
 ⇒ caractériser la présence de tunnels et cavités
- invariants topologiques

Caractéristique d'Euler 3D

$$\chi = \#sommets - \#aretes + \#faces - \#volumes$$

Nombres de Betti 3D

- $b_0 = \#composantes\ connexes$
- $b_1 = \#tunnels$
- $b_2 = \#cavites$



$$\chi = 1 \quad \begin{matrix} b_0 = 1 \\ b_1 = 3 \\ b_2 = 2 \end{matrix}$$

$$\chi = 1 \quad \begin{matrix} b_0 = 2 \\ b_1 = 3 \\ b_2 = 1 \end{matrix}$$

Intégration d'un critère topologique

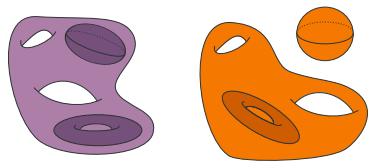
- domaine \rightarrow connaissances de propriétés topologiques
 - **surface corticale ne contient pas de tunnels** \Rightarrow caractériser la présence de tunnels et cavités
- invariants topologiques

Caractéristique d'Euler 3D

$$\chi = \#sommets - \#aretes + \#faces - \#volumes$$

Nombres de Betti 3D

- $b_0 = \#composantes\ connexes$
- $b_1 = \#tunnels$
- $b_2 = \#cavites$



$$\chi = 1$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 1 \\ b_1 &= 3 \\ b_2 &= 2 \end{aligned}$$

$$\chi = 1$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 2 \\ b_1 &= 3 \\ b_2 &= 1 \end{aligned}$$

Intégration d'un critère topologique

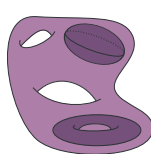
- domaine \rightarrow connaissances de propriétés topologiques
 - **surface corticale ne contient pas de tunnels** \Rightarrow caractériser la présence de tunnels et cavités
- invariants topologiques

Caractéristique d'Euler 3D

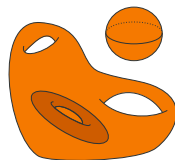
$$\chi = \#sommets - \#aretes + \#faces - \#volumes$$

Nombres de Betti 3D

- $b_0 = \#composantes\ connexes$
- $b_1 = \#tunnels$
- $b_2 = \#cavites$



$$\chi = 1 \quad \begin{array}{l} b_0 = 1 \\ b_1 = 3 \\ b_2 = 2 \end{array}$$



$$\chi = 1 \quad \begin{array}{l} b_0 = 2 \\ b_1 = 3 \\ b_2 = 1 \end{array}$$

Caractéristique d'Euler du bord

[Damiand et al., 2006]

Caractéristique d'Euler du bord d'une région

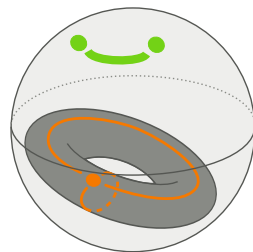
$$\chi' = \sum_{\text{surfaces}} \#sommets - \#aretes + \#faces$$

Principe : compter les cellules

- manière incrémentale
- opérations ajout / suppression

Propriétés :

- régions sans cavité \rightarrow *#tunnels*
- $\chi(r) = \chi'(r)/2$



$$\chi' = (2 - 1 + 1) + (1 - 2 + 1)$$

$$\chi' = 2$$

Calcul des nombres de Betti : b_0 , b_1 et b_2

Premier nombre de Betti d'une région

$$b_0 = 1$$

Troisième nombre de Betti d'une région

$b_2 = \#$ composantes 18-connexes dans l'arbre d'imbrication

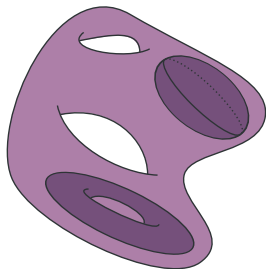
Calcul des nombres de Betti : b_0 , b_1 et b_2

Premier nombre de Betti d'une région

$$b_0 = 1$$

Troisième nombre de Betti d'une région

$b_2 = \#$ composantes 18-connexes dans l'arbre d'imbrication



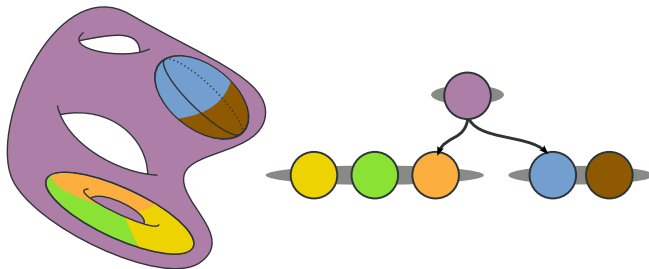
Calcul des nombres de Betti : b_0 , b_1 et b_2

Premier nombre de Betti d'une région

$$b_0 = 1$$

Troisième nombre de Betti d'une région

$b_2 = \# \text{composantes 18-connexes dans l'arbre d'imbrication}$



Calcul des nombres de Betti : b_0 , b_1 et b_2

Premier nombre de Betti d'une région

$$b_0 = 1$$

Troisième nombre de Betti d'une région

$b_2 = \#$ composantes 18-connexes dans l'arbre d'imbrication

Deuxième nombre de Betti d'une région

$$b_1 = b_0 + b_2 - \frac{\chi'}{2}$$

Formules utilisées :

- $\chi = \frac{\chi'}{2}$
- $\chi = b_0 - b_1 + b_2$

Intégration dans la segmentation

Calcul **incrémental** :

- $b_2 \rightarrow$ compter les surfaces
- $b_1 \rightarrow$ calcul incrémental pour b_2 et χ'

Exemples de critères

b_i constant

$b_i \rightarrow$ valeur

Contrôle topologique de la segmentation

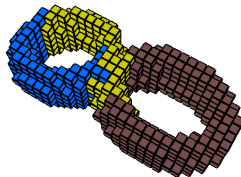
- lorsque nous étudions la fusion de r_1 avec r_2 :
 - critère de contraste validé ?
 - critère nombres de Betti $r_1 \cup r_2$ validé ?
 \Rightarrow fusion symbolique de r_1 et r_2

Résultats

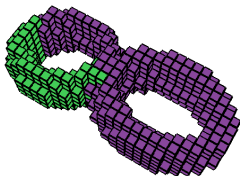
- image contenant un 2-tore (région à 2 tunnels)



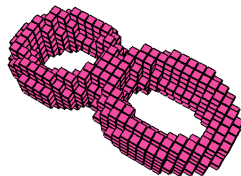
voxels



$b_1 \rightarrow 0$



$b_1 \rightarrow 1$



$b_1 \rightarrow 2$

Représentation des images

Image 3D et partition en régions

Modèles topologiques

Carte topologique 3D

Opérations de modification

Fusion de régions

Division et éclatement d'une région

Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

Première approche par fusion de régions

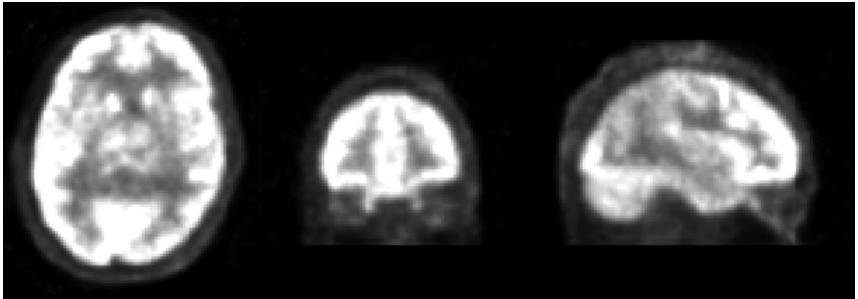
Intégration d'un critère topologique

Chaîne de traitement complète

Conclusion

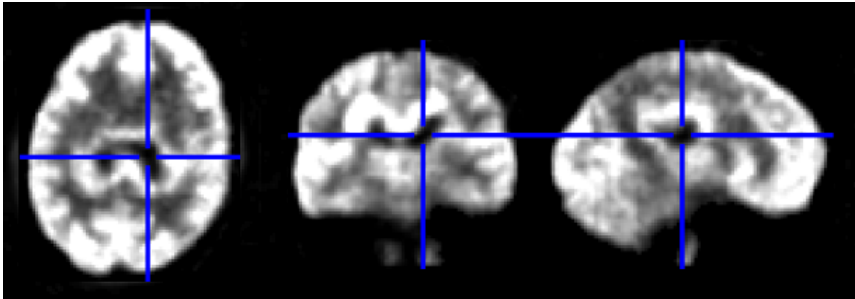
Tomographie par Emission de Positron (TEP)

- technique d'imagerie nucléaire
- représente le métabolisme des cellules
- métabolisme tumeur ↔ métabolisme cerveau
- beaucoup de configurations différentes



Tomographie par Emission de Positron (TEP)

- technique d'imagerie nucléaire
- représente le métabolisme des cellules
- **métabolisme tumeur** ↔ **métabolisme cerveau**
- beaucoup de configurations différentes



Tomographie par Emission de Positron (TEP)

- technique d'imagerie nucléaire
- représente le métabolisme des cellules
- **métabolisme tumeur** ↔ **métabolisme cerveau**
- beaucoup de configurations différentes

Problème simplifié proposé par un médecin

- tumeur = une nécrose englobée dans une zone active
- volume de la tumeur situé dans une zone d'intérêt (ZI)
- nécrose de faible intensité ($< t_{necrose}$)

Outils mis en oeuvre pour réaliser la segmentation

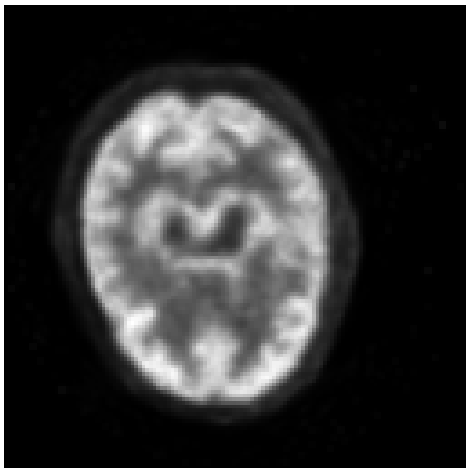
Basés sur des opérations de modification :

- extraction
- division
- fusion
- croissance : outils basés sur la fusion
 - contraintes sur nombres de Betti
- déformation

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

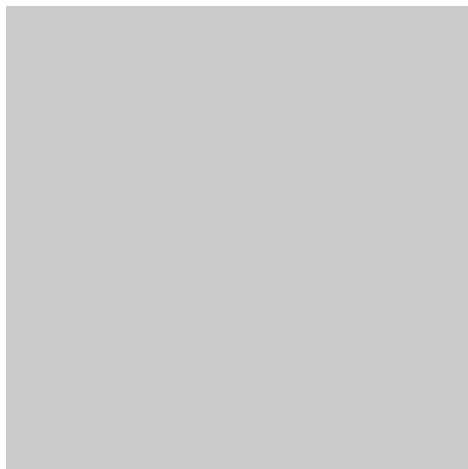
1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation



Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. **extraction**
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation

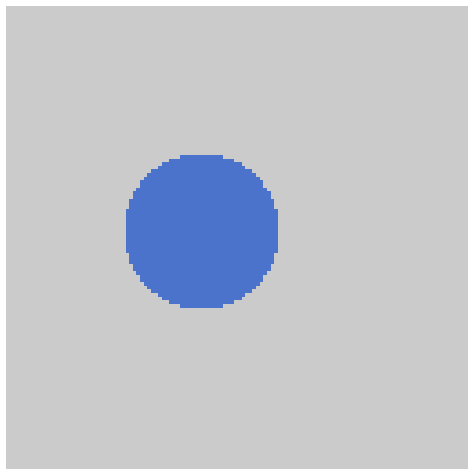


extraction : image dans une région

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. **division** : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation

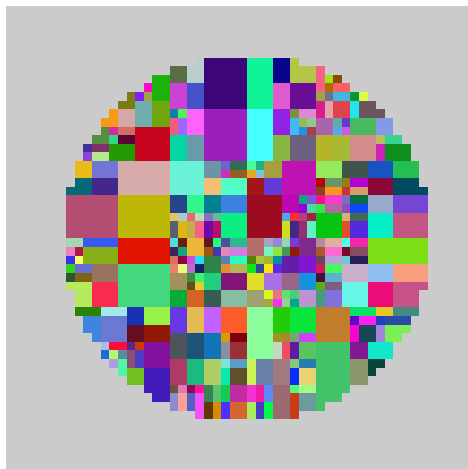


division : sphère délimitant la zone d'intérêt (ZI)

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. division : sphère ZI
3. **division** : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation

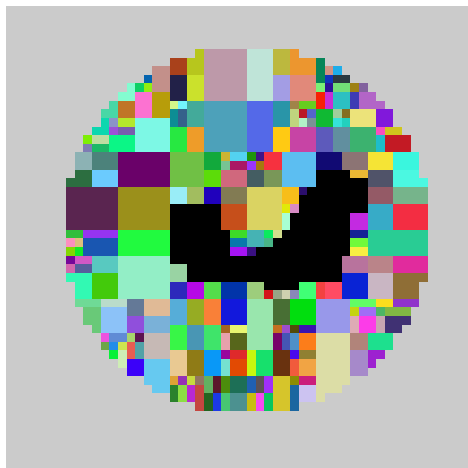


division : zone d'intérêt par un critère intensité

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. **croissance : nécrose**
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation

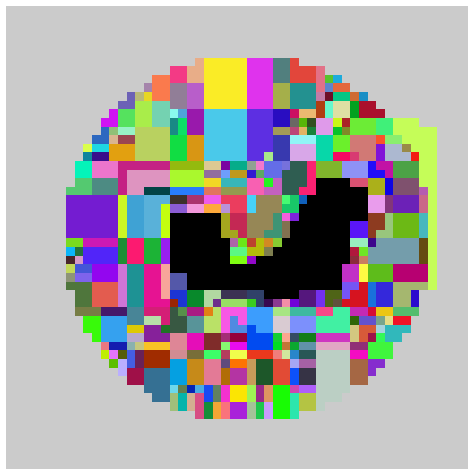


croissance : nécrose ($b_1 \rightarrow 0$ et $b_2 \rightarrow 0$)

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. **division : 3 coquilles**
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation

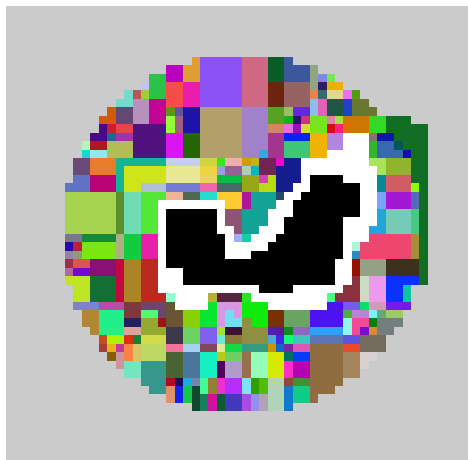


division : régions adjacentes à la nécrose par surfaces imbriquées

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation



fusion : régions adjacentes à la nécrose \rightarrow zone active

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. déformation

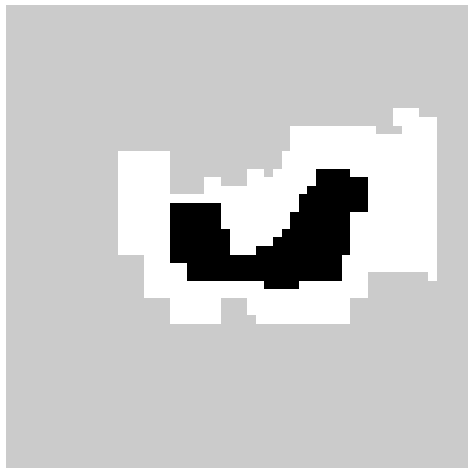


croissance : active ($b_1 \rightarrow 0$ et $b_2 \rightarrow 1$)

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. **fusion : fond**
9. déformation



fusion : régions autres que nécrose et zone active

Visualisation de la chaîne de traitement

Exemple de déroulement :

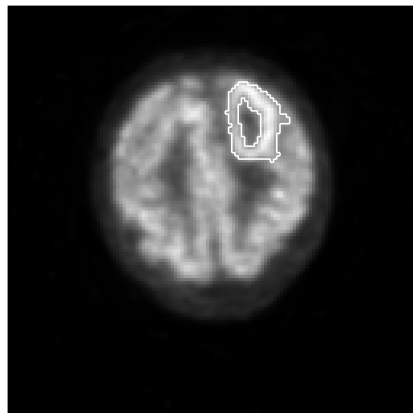
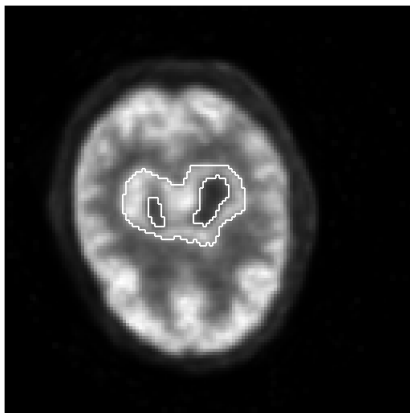
1. extraction
2. division : sphère ZI
3. division : intensité $< t_{necrose}$
4. croissance : nécrose
5. division : 3 coquilles
6. fusion : région adjacente
7. croissance : zone active
8. fusion : fond
9. **déformation**



déformation : surface nécrose et surface zone active

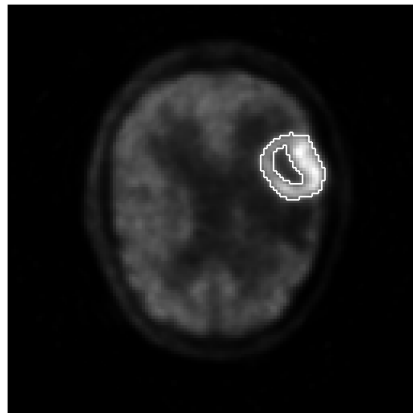
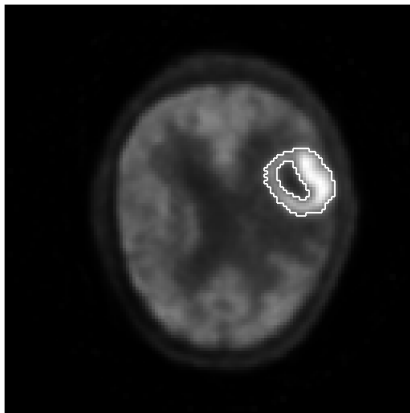
Résultats

- coupe d'images 3D
- comparaison du volume entre deux images d'un même patient



Résultats

- coupe d'images 3D
- comparaison du volume entre deux images d'un même patient



Représentation des images

- Image 3D et partition en régions

- Modèles topologiques

- Carte topologique 3D

Opérations de modification

- Fusion de régions

- Division et éclatement d'une région

- Déformation d'une partition

Opérations de segmentation

- Première approche par fusion de régions

- Intégration d'un critère topologique

- Chaîne de traitement complète

Conclusion

Contributions : opérations

Fusion de régions

[IWCI, 2008]

- deux approches : locale et globale
- calcul incrémental de caractéristiques

Division d'une région

- deux approches : éclatement en voxels et division par guide

Déformation de partition

[DGCI, 2009]

- points simples multilabel
- utilisation pour la déformation de surfaces

Contributions : segmentation

Segmentation par fusion de régions

- adaptation d'un algorithme existant [DGCI, 2008]
- calcul de caractéristiques topologiques
 - nombres de Betti [DAM, 2009]
- intégration comme critère pour la segmentation

Chaîne de traitement

- application : segmentation de tumeurs cérébrales
- développement de différents outils
- intégration d'*a priori* topologiques

Perspectives : opérations de modification

Fusion de régions :

- calcul incrémental d'autres propriétés
 - aire des surfaces → nouvelles contraintes
- opérations adaptées à des configurations particulières
 - régions sans imbrication

Division d'une région :

- éviter l'éclatement du bord des régions
 - insertion des cellules nécessaires

Déformation d'une partition :

- points simples multilabel permettant :
 - déformation des arêtes et déplacement des sommets
 - caractériser les changements topologiques

Perspectives : segmentation

Prise en compte de la topologie :

- étude de différents invariants topologiques
 - **générateurs des groupes d'homologie** → guider la division

Chaîne de traitement :

- valider les résultats par des experts
- applications à des problèmes différents
 - autres contraintes topologiques
- approches différentes de la segmentation
 - méthodes probabiliste et statistique

Bilan

cartes topologiques + opérations → segmentation topologique

Perspectives : segmentation

Prise en compte de la topologie :

- étude de différents invariants topologiques
 - **générateurs des groupes d'homologie** → guider la division

Chaîne de traitement :

- valider les résultats par des experts
- applications à des problèmes différents
 - autres contraintes topologiques
- approches différentes de la segmentation
 - méthodes probabiliste et statistique

Bilan

cartes topologiques + opérations → segmentation topologique

Opérations et Algorithmes pour la Segmentation Topologique d'Images 3D

Alexandre Dupas

Thèse dirigée par Guillaume Damiand et Pascal Lienhardt

Laboratoire XLIM-SIC, Université de Poitiers

25 Novembre 2009