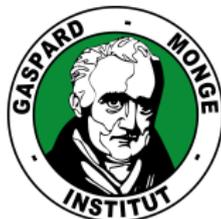


Autour de la ligne de partage des eaux

Jean Cousty

Gilles Bertrand, Michel Couprie, Laurent Najman
Journées AERES, 5-6 février 2009



Dates clefs

- 1999-2004 Élève ingénieur - ESIEE
- 2003 Stage - UNIV. OF PENNSYLVANIA, USA - J.K. Udupa
- 2003-2004 DEA IFA - UNIVERSITÉ DE MARNE-LA-VALLÉE
- 2004 Stage - GENERAL ELECTRIC HEALTHCARE
- 2004-2007 Doctorant - IGM & CHU H. MONDOR, Créteil
- 2007-2008 Post-doctorant - INRIA (Sophia-Antipolis) - N. Ayache
- 2008- **Professeur Assistant** - ESIEE

Contexte applicatif : imagerie médicale

- **Imagerie par résonance magnétique cardiaque**

- **Imagerie par résonance magnétique cardiaque**
 - Acquisition spatio-temporelle 3D+t (IRM ciné)

im

- **Imagerie par résonance magnétique cardiaque**
 - Acquisition spatio-temporelle 3D+t (IRM ciné)

im

Problématique médicale

- Visualiser des objets d'intérêt dans des images en 3D ou 4D
- Déterminer des mesures utiles au diagnostic

Problème

- **Segmentation** *des objets d'intérêt*

Ligne de Partage des Eaux (LPE) : introduction



- La notion de ligne de partage des eaux (LPE) apparaît dès le XIX^{ème} siècle (Maxwell et Jordan, entre autres)

LPE : introduction

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image par Digabel et Lantuéjoul

LPE : introduction

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image par Digabel et Lantuéjoul



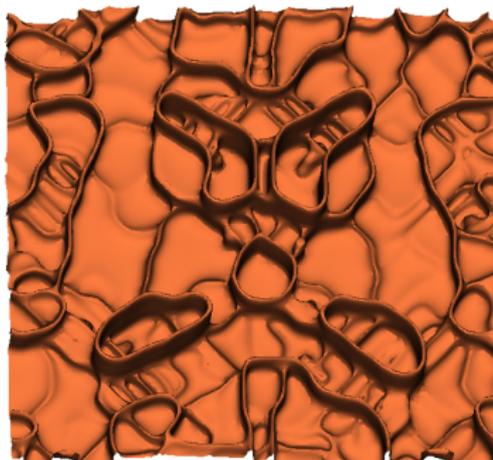
LPE : introduction

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image par Digabel et Lantuéjoul



LPE : introduction

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image par Digabel et Lantuéjoul



Problème

- Sur-segmentation

LPE : introduction

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image par Digabel et Lantuéjoul

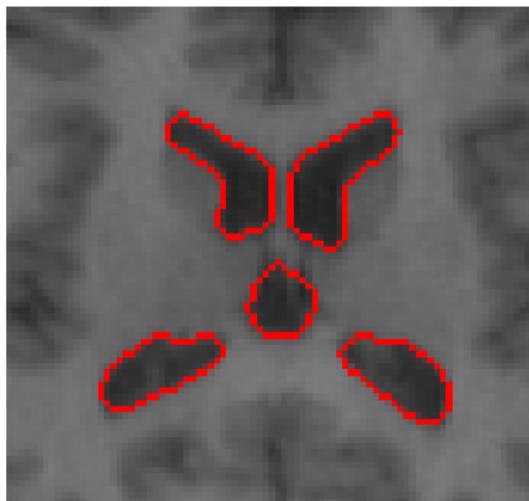


Problème

- Sur-segmentation

LPE : introduction

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image par Digabel et Lantuéjoul



Problème

- Sur-segmentation

Around the water sharing line : plan

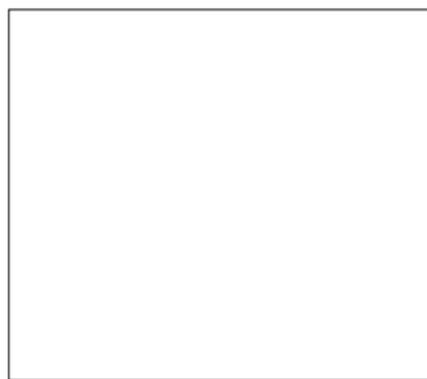
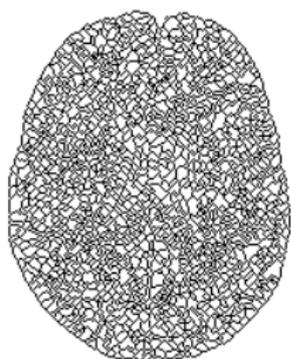
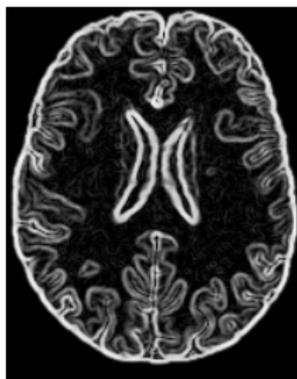
- 1 Graphes de fusion
- 2 LPE dans les graphes à arêtes pondérées
- 3 Application en imagerie cardiaque 3D+t

Fusion de régions

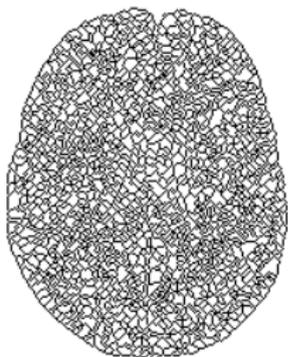
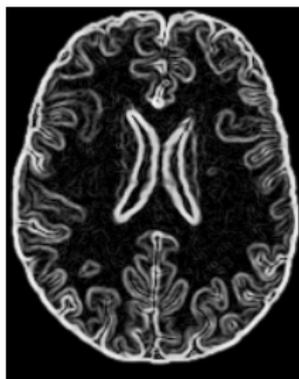
- Les méthodes de fusion de régions consistent à améliorer une segmentation initiale en fusionnant itérativement des paires de régions voisines.

T.Pavlidis. *Structural Pattern Recognition*, chapitres 4-5.
Segmentation techniques, 1977.

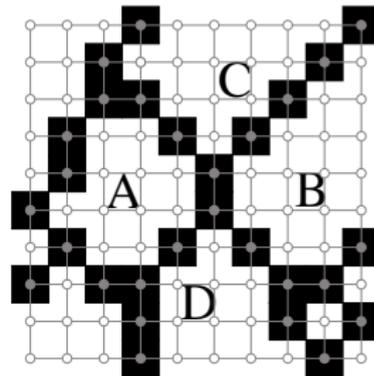
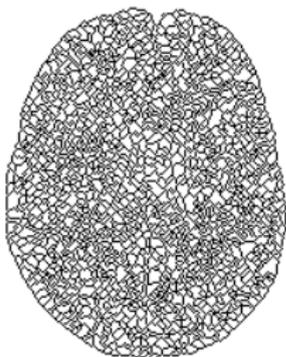
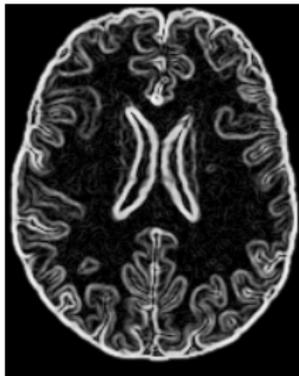
Fusion de régions : Problème 1



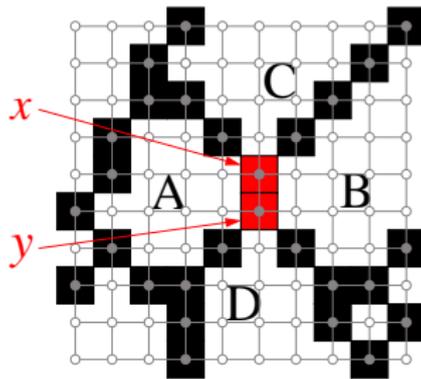
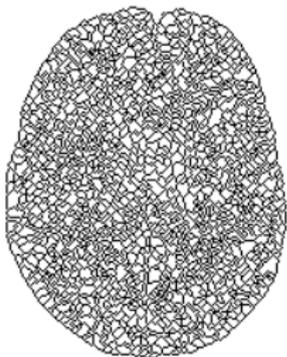
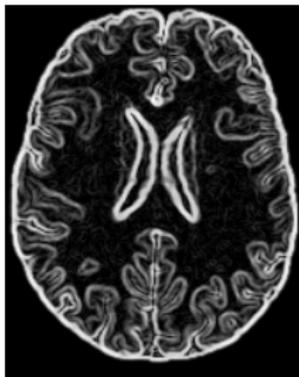
Fusion de régions : Problème 1



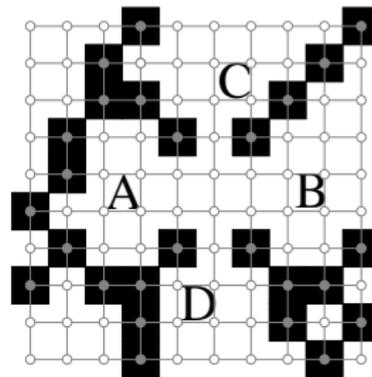
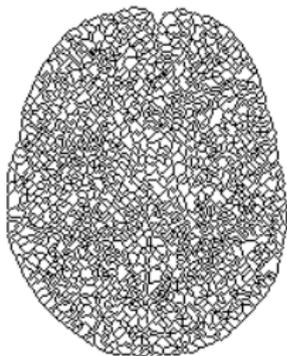
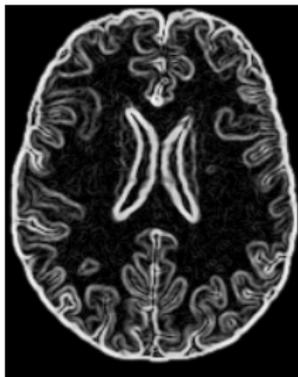
Fusion de régions : Problème 1



Fusion de régions : Problème 1

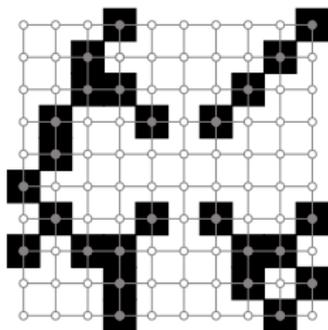


Fusion de régions : Problème 1

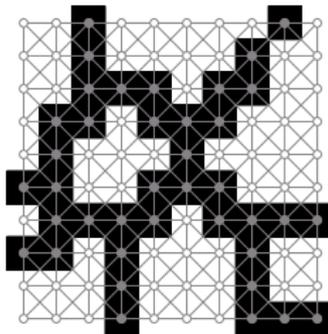


Problème : “When 3 regions meet”, [PAVLIDIS-77]

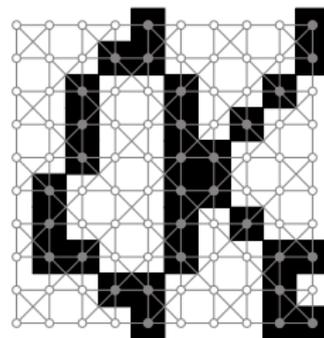
Fusion de régions : Problème 1



adjacence directe



adjacence indirecte



?

Problème : “When 3 regions meet”, [PAVLIDIS-77]

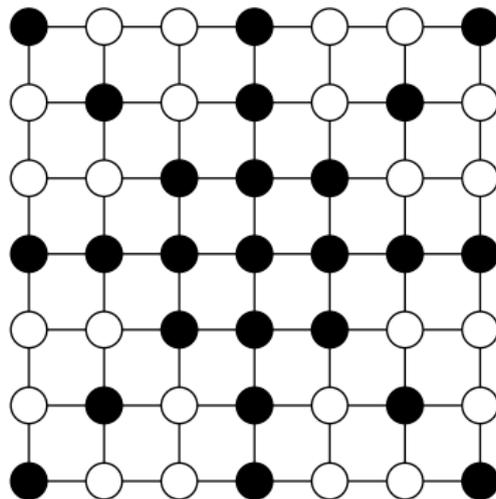
- Existe-t-il des graphes dans lesquels tout couple de régions voisines peut être fusionné en préservant toutes les autres régions ?

- Introduction de **4 classes de graphes** définies en fonction de leurs propriétés de fusion. En particulier :

- Introduction de **4 classes de graphes** définies en fonction de leurs propriétés de fusion. En particulier :
- Les **graphes de fusion** sont les graphes dans lesquels toute région peut être fusionnée avec au moins une de ses voisines

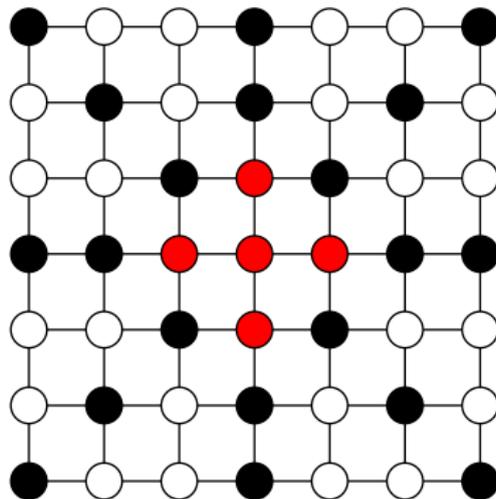
- Introduction de **4 classes de graphes** définies en fonction de leurs propriétés de fusion. En particulier :
- Les **graphes de fusion** sont les graphes dans lesquels toute région peut être fusionnée avec au moins une de ses voisines
- Les **graphes de fusion parfaits** sont les graphes dans lesquels deux régions voisines peuvent toujours être fusionnées à travers leur voisinage commun

Fusion de régions : Problème 2



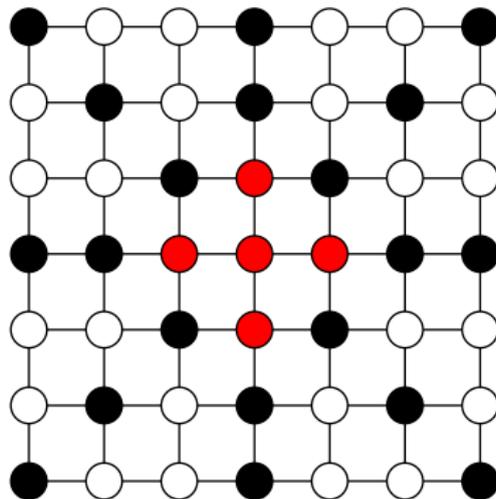
Problème : Clivage (ou LPE binaire) épais

Fusion de régions : Problème 2



Problème : Clivage (ou LPE binaire) épais

Fusion de régions : Problème 2



Problème : Clivage (ou LPE binaire) épais

- Existe-t-il des graphes dans lesquels tout clivage est mince ?

Théorème (de minceur)

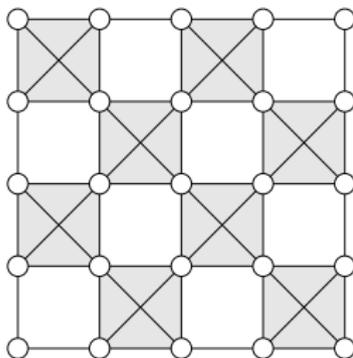
- *Un graphe est un graphe de fusion si et seulement si tout clivage dans ce graphe est mince*

- Cousty et al., *Fusion graphs: merging properties and watersheds*, JMIV 2008

Quelle adjacence utiliser en analyse d'images ?

Quelle adjacence utiliser en analyse d'images ?

- Introduction d'une **nouvelle relation d'adjacence sur \mathbb{Z}^d** , appelée grille de fusion parfaite, qui est un graphe de fusion parfait



Grille de fusion parfaite : Résultat saillant

Théorème (d'unicité)

- *La grille de fusion parfaite est l'unique relation d'adjacence sur \mathbb{Z}^d , entre les relations d'adjacence directe et indirecte, qui induit un graphe de fusion parfait, quelle que soit la dimension $d \in \mathbb{N}_*^+$*

- Cousty et Bertrand, *Uniqueness of the perfect fusion grid on \mathbb{Z}^d* , JMIV, révision mineure, 2009

Graphes de fusion pondérés

- Caractérisation des lignes de partage des eaux minces

- Cousty et al., *Weighted fusion graphs: merging properties and watersheds*, DAM 2008

Graphes de fusion pondérés

- Caractérisation des lignes de partage des eaux minces
- Algorithme linéaire de ligne de partage des eaux dans les graphes de fusion parfaits
 - Reposant sur une stratégie d'immersion
 - Résultat topologiquement correct (au sens de [Bertrand-JMIV05])

- Cousty et al., *Weighted fusion graphs: merging properties and watersheds*, DAM 2008

Graphes de fusion pondérés

- Caractérisation des lignes de partage des eaux minces
- Algorithme linéaire de ligne de partage des eaux dans les graphes de fusion parfaits
 - Reposant sur une stratégie d'immersion
 - Résultat topologiquement correct (au sens de [Bertrand-JMIV05])
- Un algorithme satisfaisant de telles propriétés n'avait jamais été proposé

- Cousty et al., *Weighted fusion graphs: merging properties and watersheds*, DAM 2008

LPE dans les graphes à arêtes pondérées

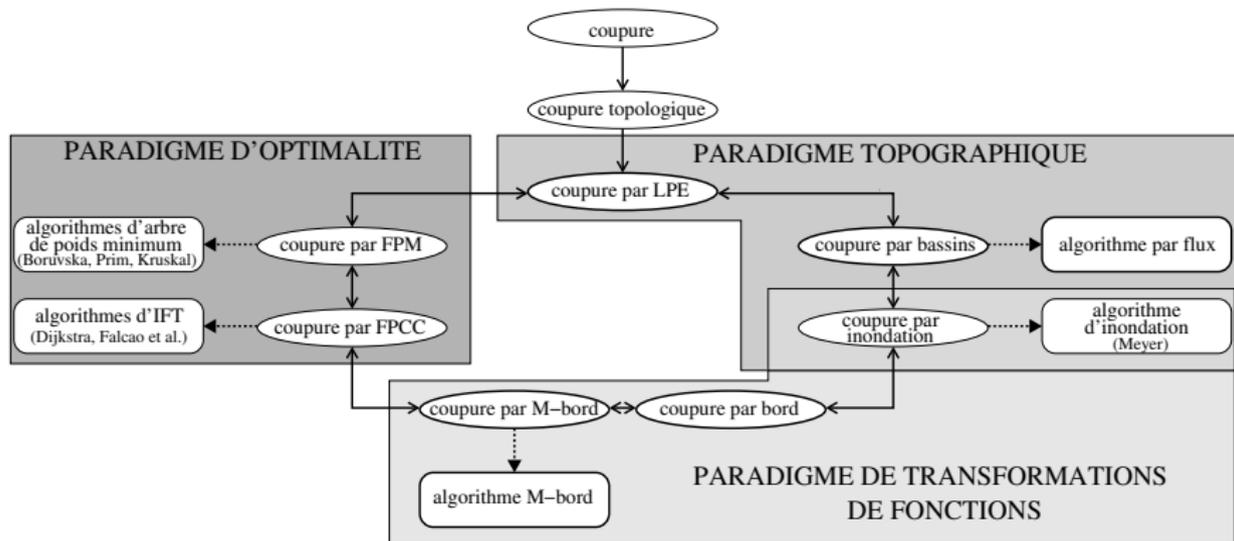
- Les graphes à arêtes pondérées sont un cas particulier des graphes de fusion parfaits à sommets pondérés

LPE dans les graphes à arêtes pondérées

- Les graphes à arêtes pondérées sont un cas particulier des graphes de fusion parfaits à sommets pondérés

- Étude directe des lignes de partages des eaux dans ces graphes

LPE sur les arêtes : synthèse des résultats



- Cousty et al., *Watershed Cuts: Minimum Spanning Forests and the Drop of Water Principle*, IEEE PAMI, sous presse
- Cousty et al., *Watershed Cuts: thinnings, shortest-path forests and topological watersheds*, IEEE PAMI, en révision

Retour aux applications

Retour aux applications

- Méthode de segmentation automatique du myocarde ventriculaire gauche dans des IRM 3D+t, reposant sur ces résultats théoriques

res

res

- Cousty et al., *Segmentation of 4D cardiac MRI: automated method based on watershed cuts*, Soumis

Retour aux applications

- Méthode de segmentation automatique du myocarde ventriculaire gauche dans des IRM 3D+t, reposant sur ces résultats théoriques

res

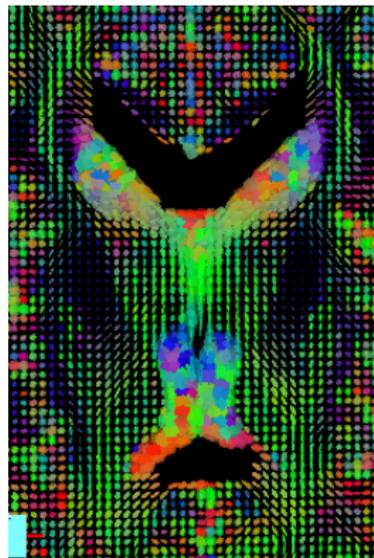
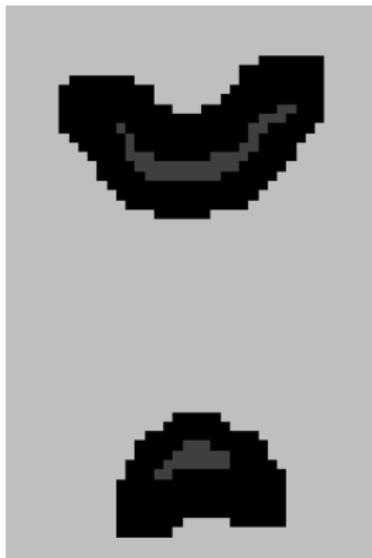
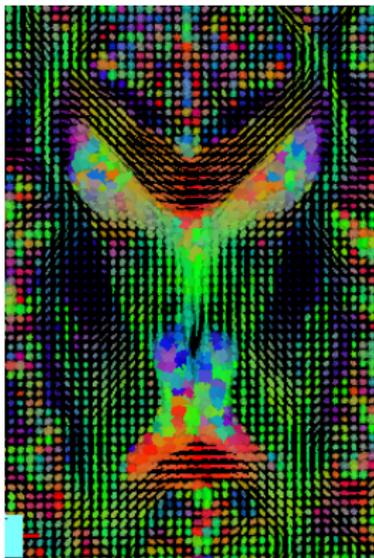
res

- Logiciel installé et validé au CHU H. Mondor de Créteil (APHP)
- Cousty et al., *Segmentation of 4D cardiac MRI: automated method based on watershed cuts*, Soumis

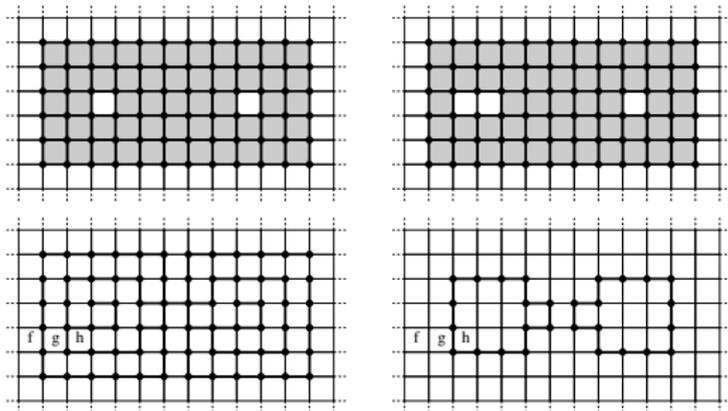
- Introduction d'un **cadre mathématique** riche pour comprendre et analyser les méthodes de **fusion de régions**
- Étude des **LPE** dans les graphes à **sommets pondérés**
 - Caractérisation des LPE minces
 - Algorithme d'immersion linéaire
- Étude des **LPE** dans les graphes à **arêtes pondérées**
 - 7 caractérisations (dont consistance et optimalité)
 - 2 algorithmes linéaires
- Segmentation d'**images médicales**
 - IRM cardiaques spatio-temporelles
 - IRM de diffusion cérébrale

- Paradigmes d'**optimisation discrète** pour la segmentation
 - Coupure minimale (flot max)
 - Marcheurs aléatoires (théorie du potentiel dans les graphes)
- **Morphologie mathématique dans les complexes simpliciaux**
 - Dimension de la LPE, lien avec l'opération de collapse
 - Treillis, adjonctions, granulométries
 - Demande de projet ANR (ANACLOBJ)
- Étude des **lignes de partage des eaux hiérarchiques**
 - Saillance des contours et distance ultra-métrique
 - Treillis des LPE
 - Demande de projet ANR (KIDISM)

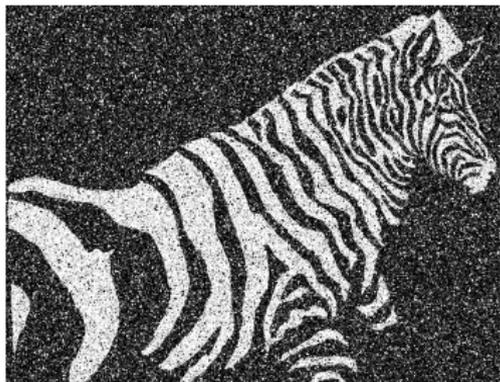
Segmentation d'IRM de diffusion du cerveau



LPE dans les complexes



Filtrage morphologique dans les complexes 1D (graphes)



noisy binary image



classical ASF



graph ASF



classical ASF (double resolution)

Saillance des contours

