GREYC Image - UMR 6072

ENSICAEN, 6 Bd du Maréchal Juin, F-14050 CAEN Cedex FRANCE

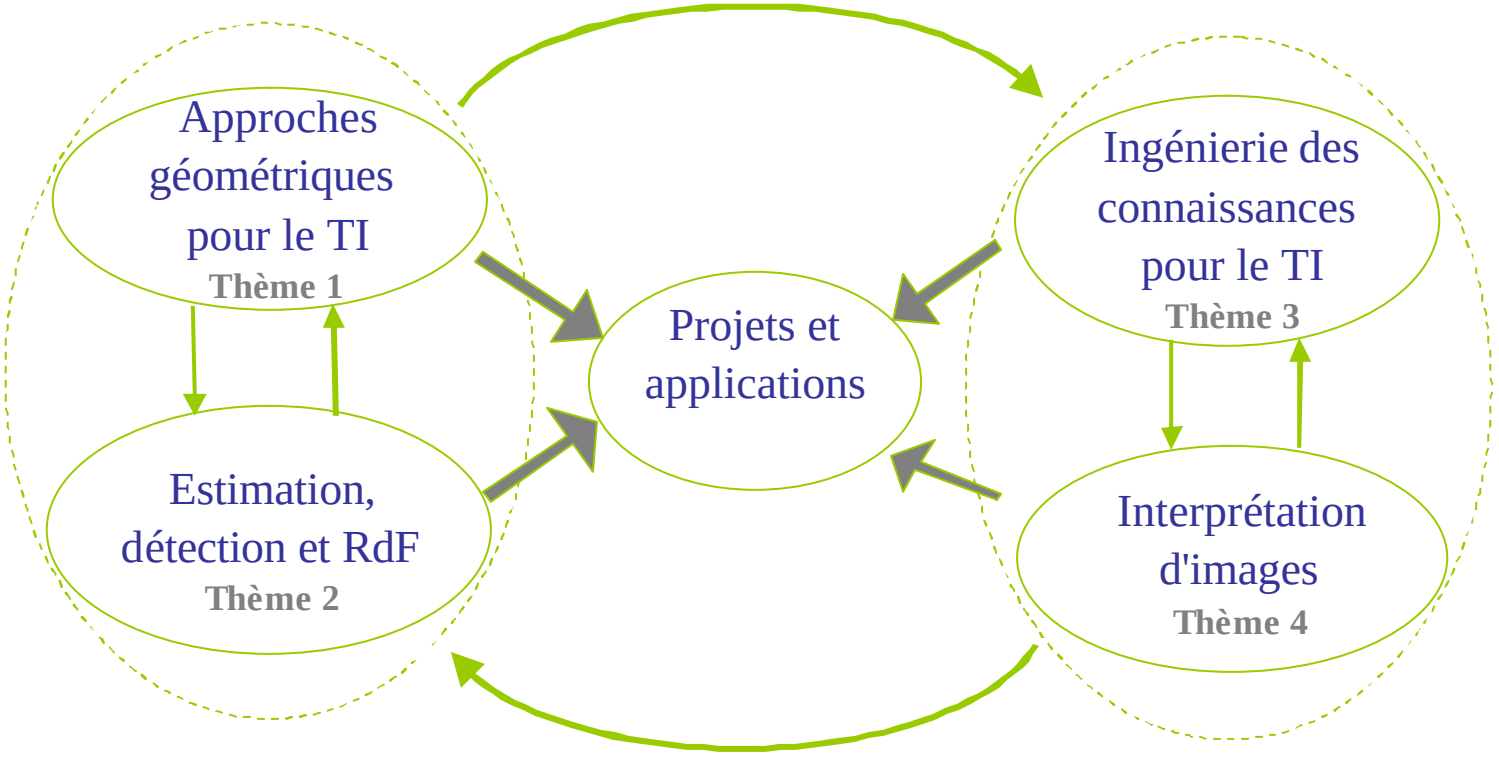
Segmentation à partir de modèles statistiques

Application à la segmentation de structures cérébrales en IRM 3D.

Jonathan Bailleul

Equipe Image

Thématiques développées



Conception d'un atlas individualisé des structures anatomiques cérébrales

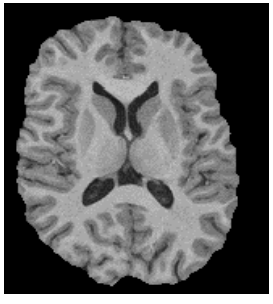
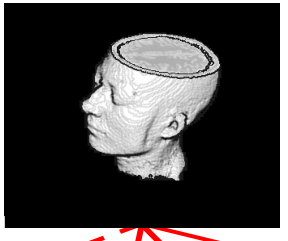
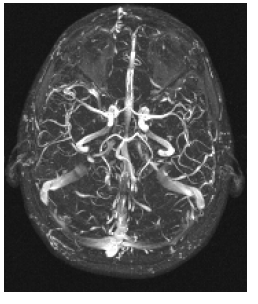


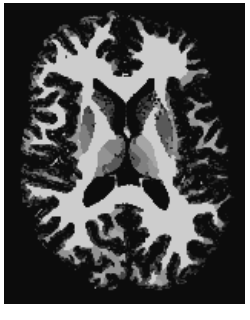
Image IRM

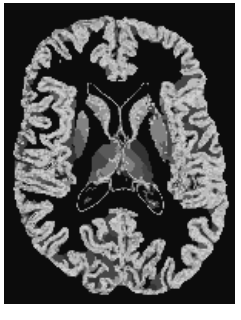


IRM 3D



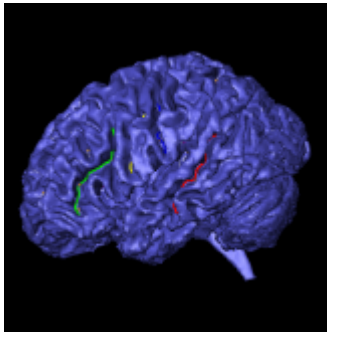
Vaisseaux sanguins



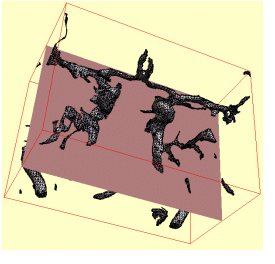


Segmentation
Substance blanche-Substance grise

Structures internes



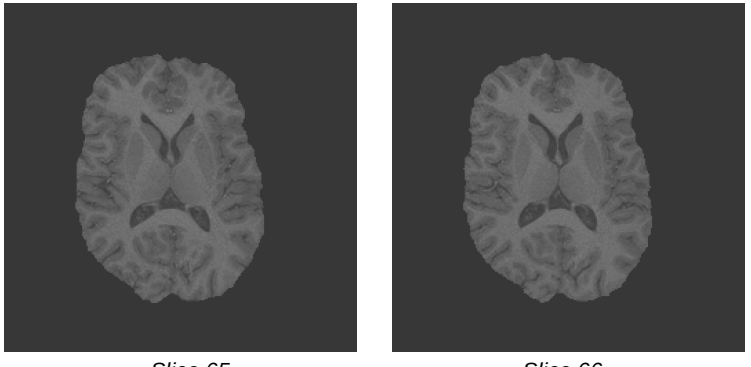
Sillons corticaux



Objectifs, contraintes

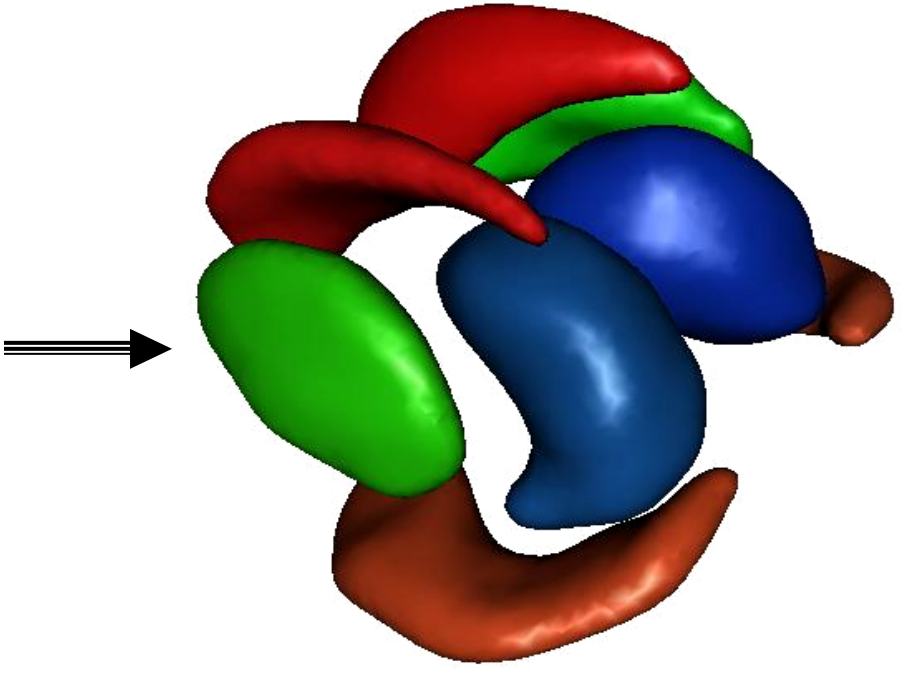
Objectif opérationnel:

Segmentation automatique de structures anatomiques 3D à partir d'une IRM cérébrale.



Slice 65 *Slice 66*

Slice 67 *Slice 68*



Intérêt de la segmentation:

- **Quantification du volume des structures:**

  Hippocampe: maladie de Parkinson.

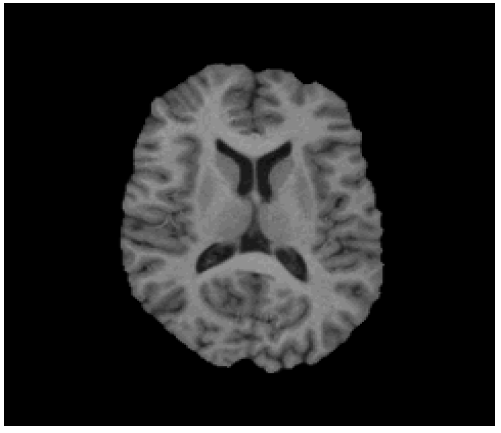
- « **Atlas digital»:**

  Collecter des informations sur la forme des structures d'une vaste population.

- **Cartographie fonctionnelle du cerveau:**

  Affecter un signal d'activation provenant d'une IRM fonctionnelle à la structure anatomique dans laquelle il a lieu.

Principal obstacle

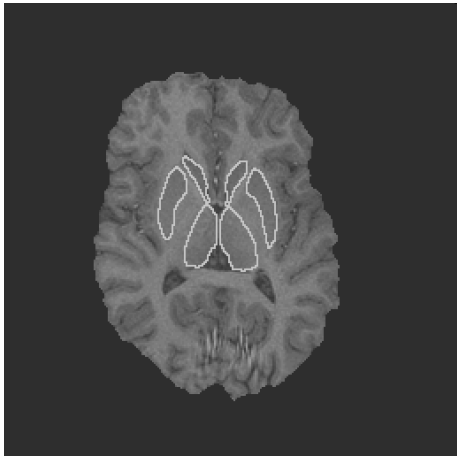


sample MRI slice

Associated gradient image (Sobel)

La plupart des méthodes de segmentation dépendent de différences d'intensité significatives.

???



Dans notre cas, nous avons besoin d'***information a priori*** pour guider le processus

Segmentation à partir de modèles statistiques

1. ***Méthode de segmentation 3D orientée régions.***
2. Présentation du modèle de forme PDM dans le cadre d'IRMs 2D.
3. Construction d'un modèle PDM en IRM 3D.
4. Application à une nouvelle méthode de segmentation 3D.

Méthode préliminaire de segmentation

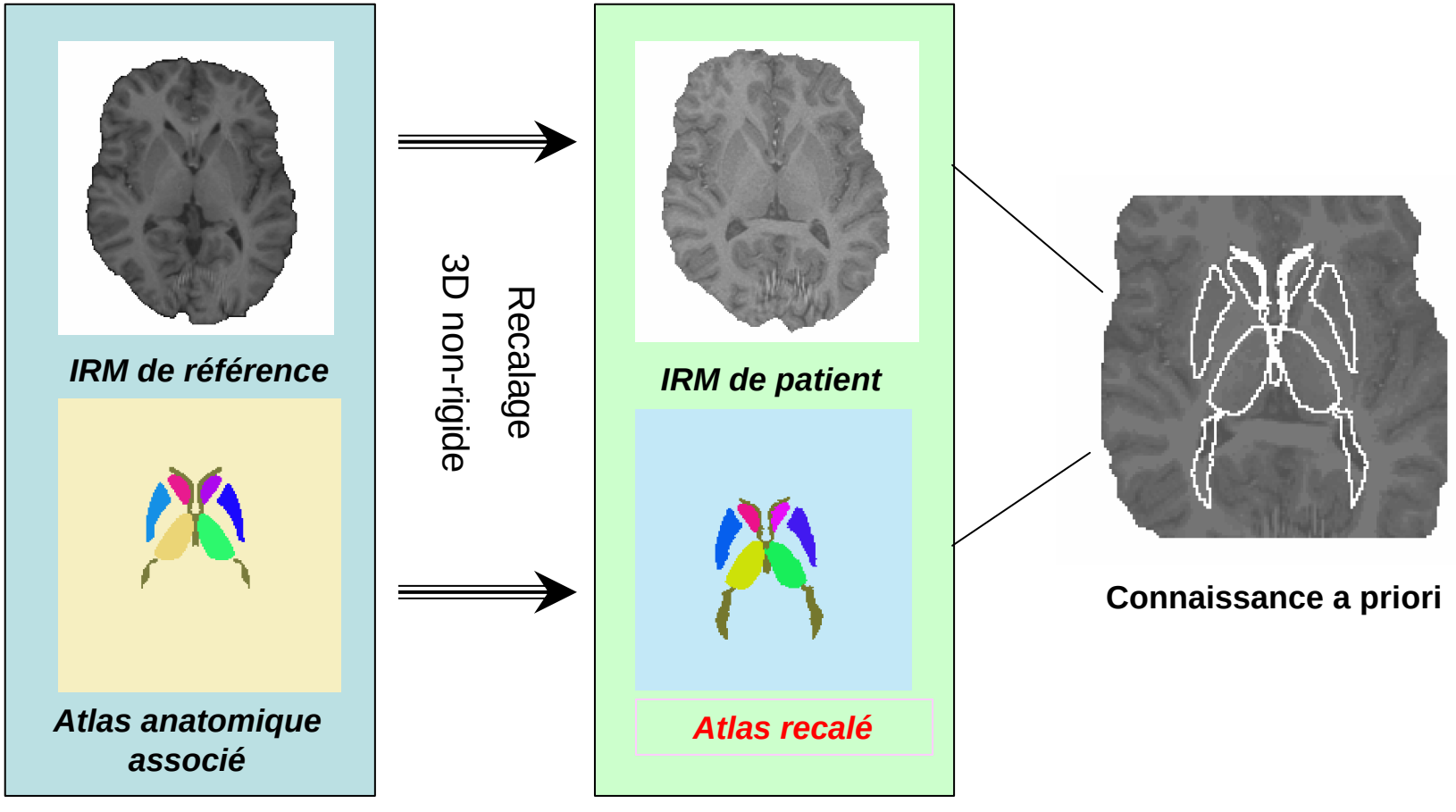
Segmentation orientée région, poursuivant les travaux de Jing-Hao Xue:

- Jing-Hao Xue, Su Ruan, Bruno Moretti, Marinette Revenu, Daniel Bloyet:

« ***Knowledge-based segmentation and labelling of brain structures from MRI images*** », Pattern Recognition Letters, 22 (2001), pp 395-405.

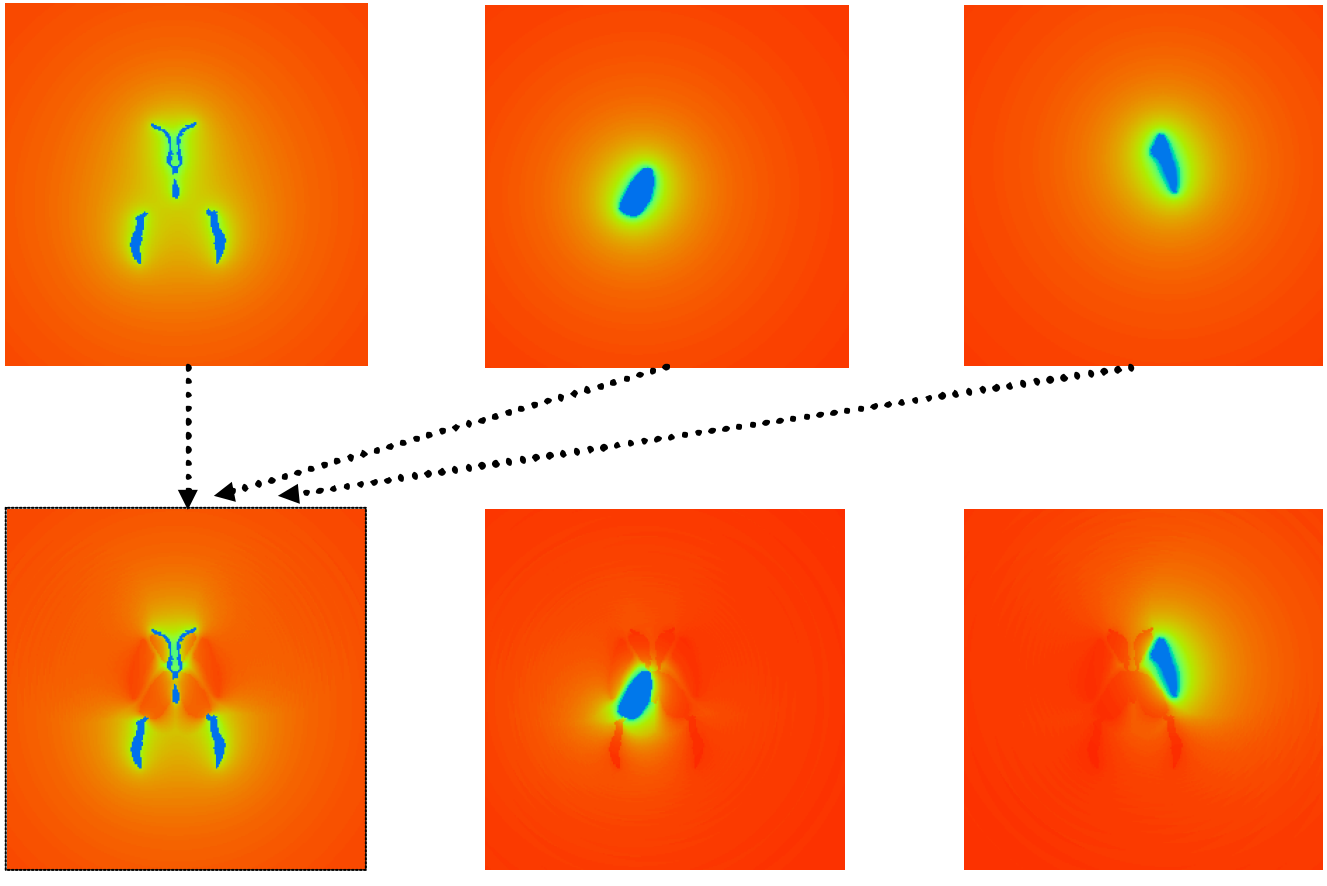
Méthode préliminaire

Etape 1: Recalage de l'atlas anatomique sur l'IRM du patient



Méthode préliminaire

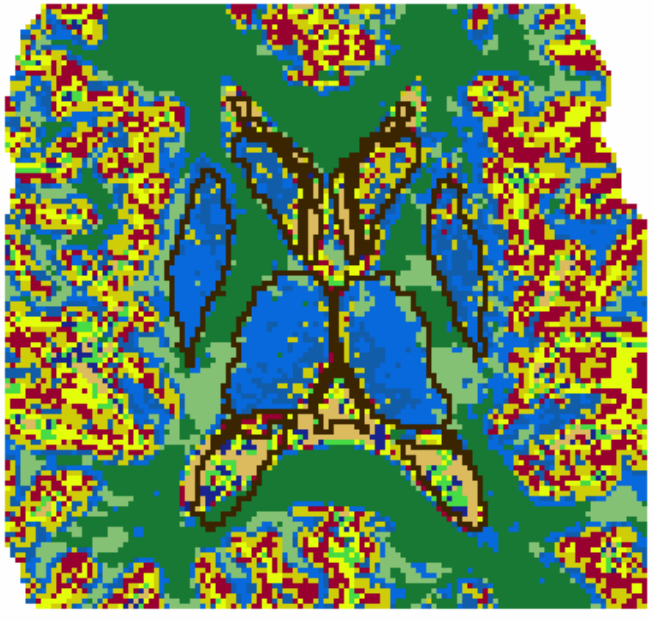
<u>Etape 2-1:</u> Calcul de champs flous 3D à partir de l'atlas recalé



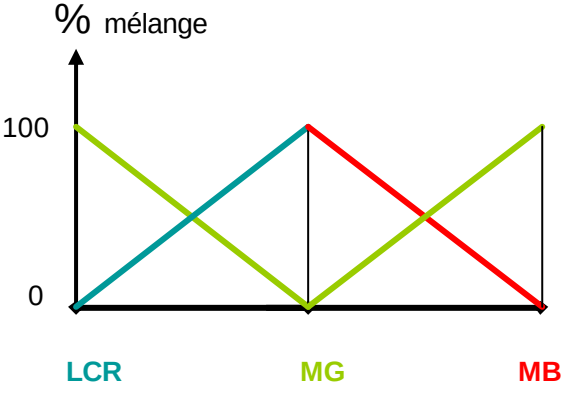
Ventricules | Thalamus gauche | Putamen droit

Méthode préliminaire

Etape 2-2: Sur-segmentation FMRF de l'IRM du Patient



(FMRF: Champs Aléatoires de Markov Flous)



- Voxels regroupés en régions labellisées selon l'estimation de mélange de 2 classes pures de tissus anatomiques (LCR, MG, MB).
- Pour chaque structure, statistiques établies sur les labels des voxels compris dans la zone de l'atlas recalé.

Méthode préliminaire

Etape 3: Segmentation par dilatation conditionnelle de « zones graines»

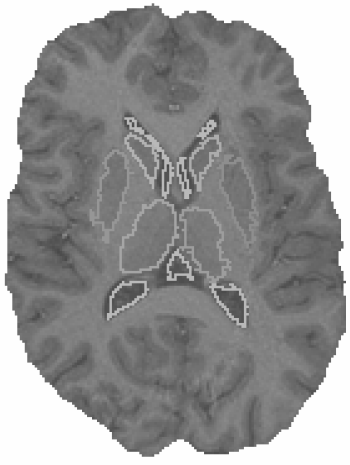


Fig. 1

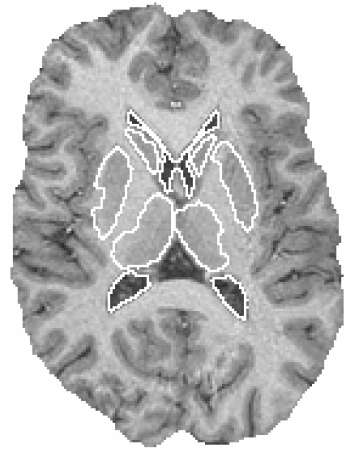


Fig. 2

• **Fig 1:** Les ***« zones graines »*** sont déterminées par agglomération des voxels de labels statistiquement compatibles et de valeurs de flou suffisa mment élevées.

• Des ***« zones limites »***, englobant les « zones graines », sont déterminées de manière analogue en employant un seuil de flou moindre.

• **Fig 2:** Le contour final est déterminé par dilatation jusqu'à idempotence des **« zones graines »** à l'intérieur des **« zones limites »**.

Méthode préliminaire

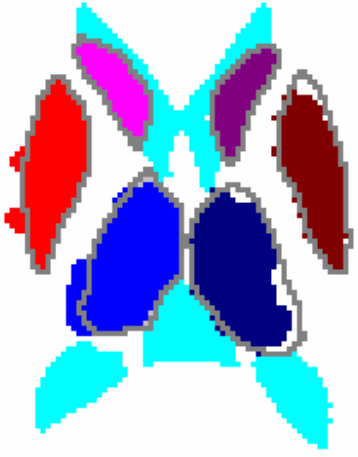


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

\+ • taux de couverture correct (>80%)

\+ • bon positionnement.

\- • faible ressemblance entre les contours du résultat et ceux de l'atlas de référence:

⟹ ***Nécessité d'un modèle de formes pour faire respecter des contraintes géométriques explicites***

Segmentation à partir de modèles statistiques

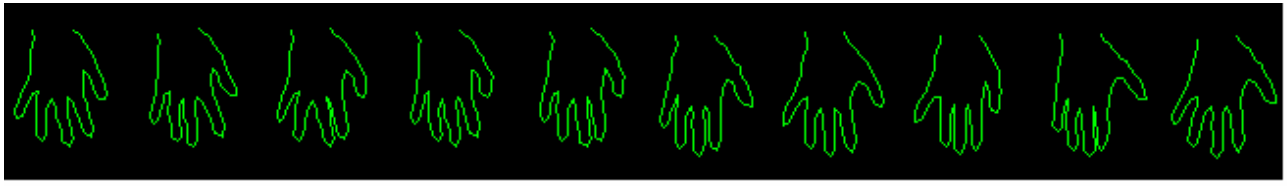
1. Méthode de segmentation 3D orientée régions.
2. ***Présentation du modèle de forme PDM dans le cadre d'IRMs 2D.***
3. Construction d'un modèle PDM en IRM 3D.
4. Application à une nouvelle méthode de segmentation 3D.

Modèle de forme n-D

- *Un modèle de forme n-D: le **« Point Distribution Model »** (PDM).*
- Exemple de procédure de recherche sur IRM à partir d'un PDM 2D: l' ***« Active Shape Model »*** (ASM).

Cootes, Taylor, Cooper, Graham: ***« Active Shape Models – Their Training and Applications »***, Computer Vision and Image Understanding, 61(1), pp 38-59, 1995.

Point Distribution Model

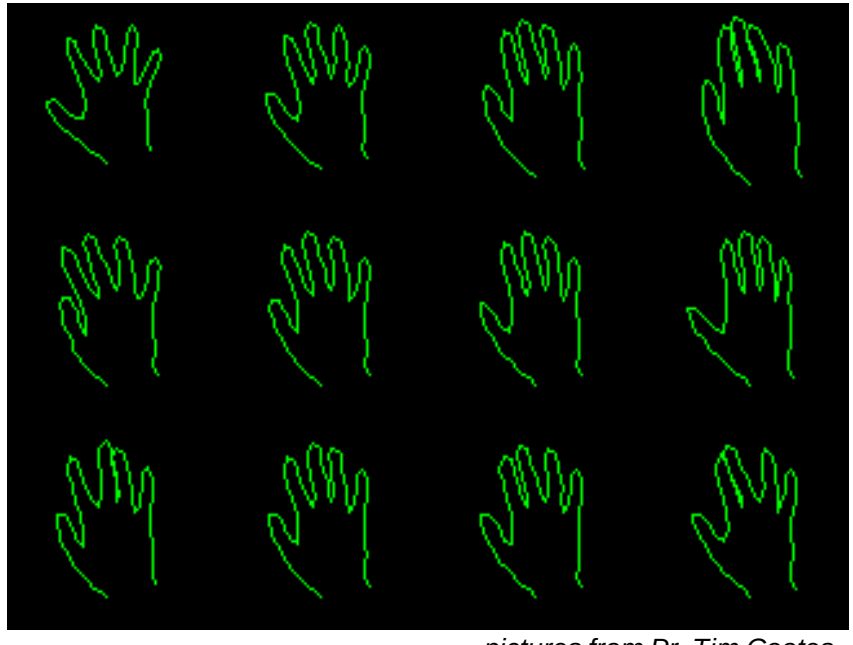


Donnée d'entrée: « ensemble d'apprentissage » de la forme étudiée

Donnée produite:

Un modèle de forme:

- générant des instances conformes à l'ensemble d'apprentissage.
- pouvant déterminer si une instance de forme peut être générée.



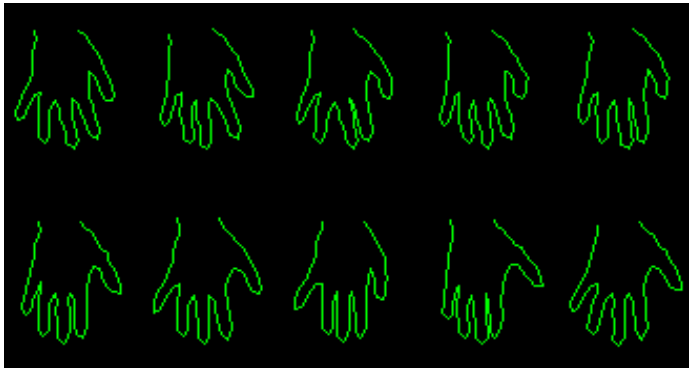
pictures from Pr. Tim Cootes

→ ***Contraintes géométriques explicites respectées***

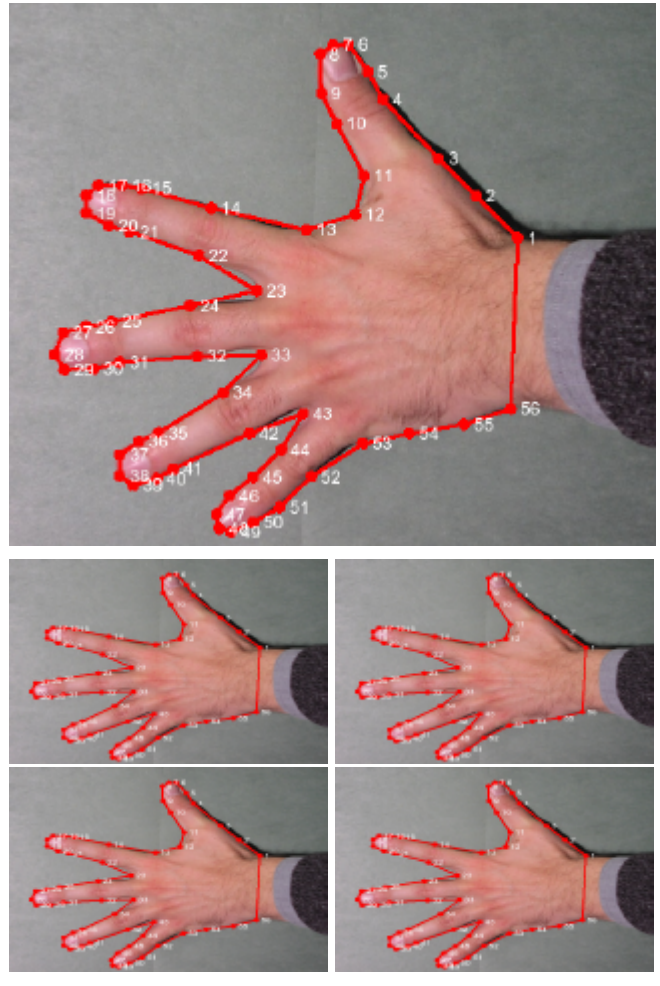
Point Distribution Model

2: Données requises par le modèle

- un nombre suffisant d'instances *correctes* de la forme étudiée.
- l'annotation de chaque instance par des points correspondants: les *landmarks.*



ensemble d'apprentissage



pictures from Dr. Mikkel Stegmann

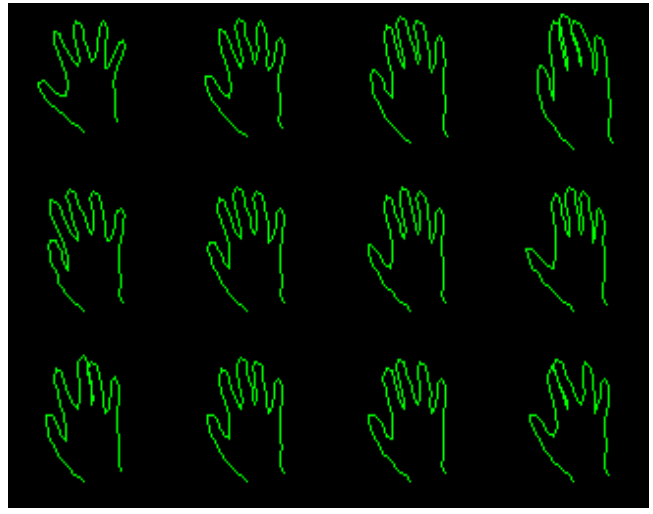
Point Distribution Model

- ensemble d'apprentissage: ***m*** instances de forme.
- chaque instance X_i est annotée de **n** ***« landmarks »***.
- une forme moyenne X_m est déterminée.
- ACP extrait de la matrice de covariance les vecteurs propres p_k et les valeurs propres v_k associées.

first mode

2nd mode

3rd mode



⟹ ***« Allowable Shape Domain »*** (ASD) défini par:

$$x_i = x_m + Pb$$

avec:
- P: $(p_1, p_2, \ldots, p_t)$, matrice des principaux vecteurs propres
- b: $(b_1, b_2, \ldots, b_t)^T$, matrice de coefficients, avec $|b_k| <= 3*\mathrm{sqrt}(v_k)$

Modèle de forme n-D

- Un modèle de forme n-D: le **« Point Distribution Model »** (PDM).
- Exemple de procédure de recherche sur IRM à partir d'un PDM 2D: l'***« Active Shape Model »*** (ASM).

⟶ Méthode de Duta, ou « improved ASM »

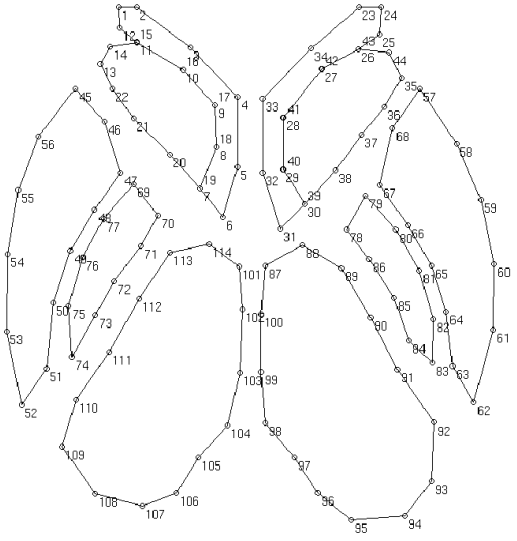
Nicolae Duta, Milan Sonka: ***« Segmentation and interpretation of MR Brain Images: an improved Active Shape Model »***, IEEE TMI, 17(6) pp 1049-1067, 1997.

Cootes, Taylor, Cooper, Graham: ***« Active Shape Models – Their Training and Applications »***, Computer Vision and Image Understanding, 61(1), pp 38-59, 1995.

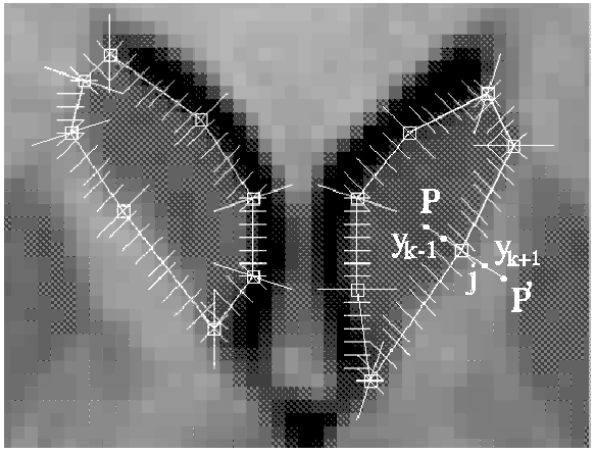
Improved ASM

Etape 1: Informations complétant le PDM

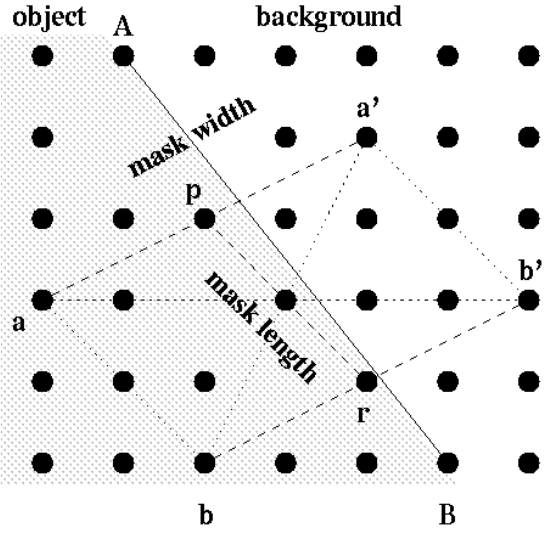
pictures from Dr. Nicolae Duta



Average shape model



Gray level appearance

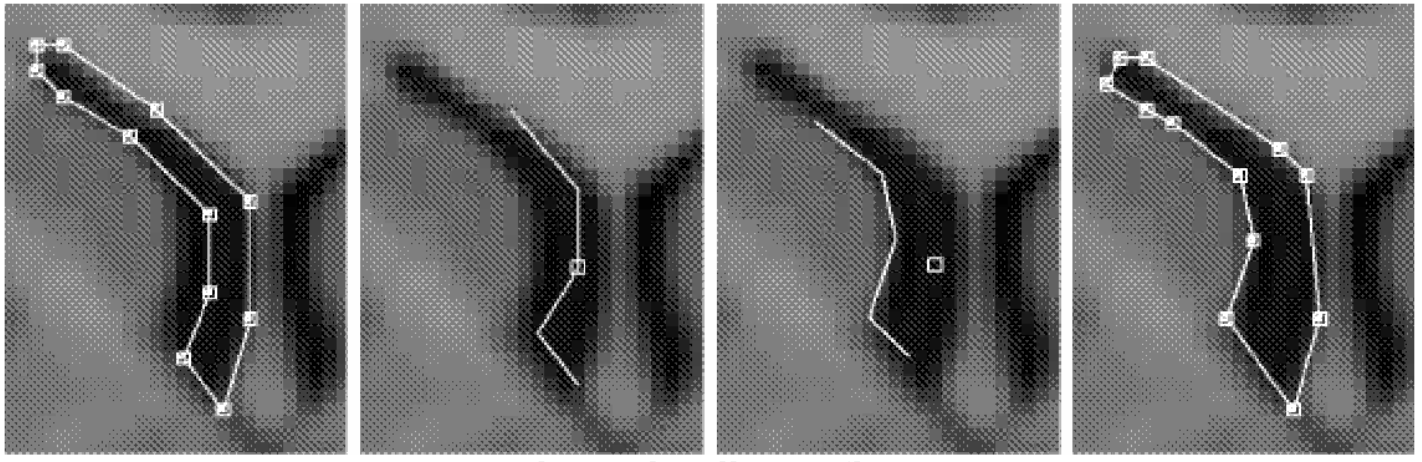


Border Strength

- ***« gray-level appearance »,*** pour chaque point.
- ***« border strength »,*** pour chaque segment.
- ***position moyenne***, pour chaque structure.

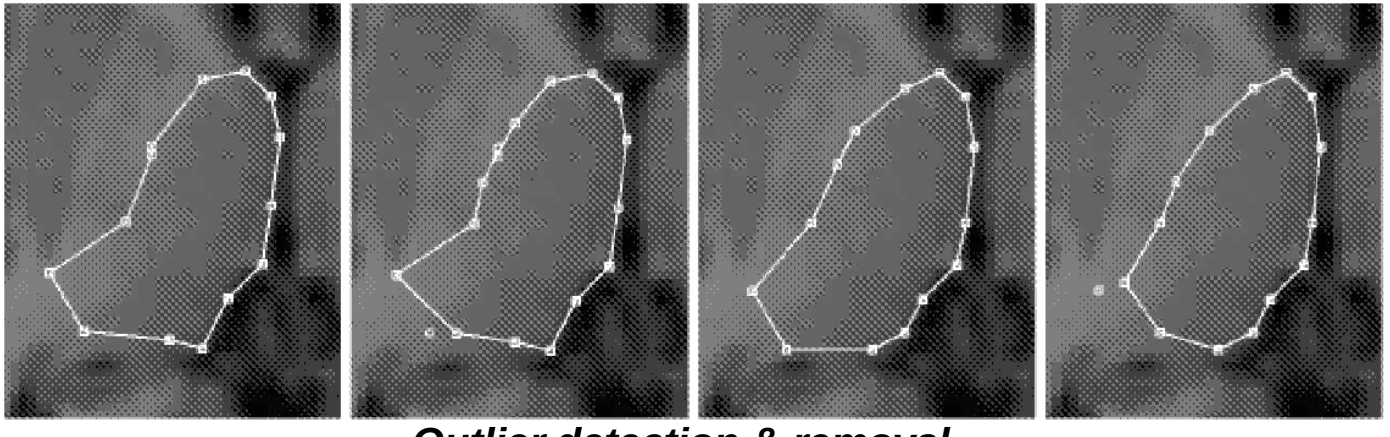
Improved ASM

Etape 2: adaptation du modèle sur l'image



pictures from Dr. Nicolae Duta

Piecewise linear fit



Outlier detection & removal

Modèle PDM / Procédure ASM

Bilan

- Modèles de référence: contraintes de formes strictes respectées , qualité des résultats.
- Méthode analogue à un recalage tenant compte de contraintes de formes et focalisé sur notre zone d'intérêt.
- Certaine sensibilité au positionnement initial (accru sur modèles AAM).

- Méthodes essentiellement envisagées pour un modèle de forme 2D!

Segmentation à partir de modèles statistiques

1. Méthode de segmentation 3D orientée régions.
2. Présentation du modèle de forme PDM dans le cadre d'IRMs 2D.
3. ***Construction d'un modèle PDM en IRM 3D.***
4. Application à une nouvelle méthode de segmentation 3D.

Création d'un PDM 3D

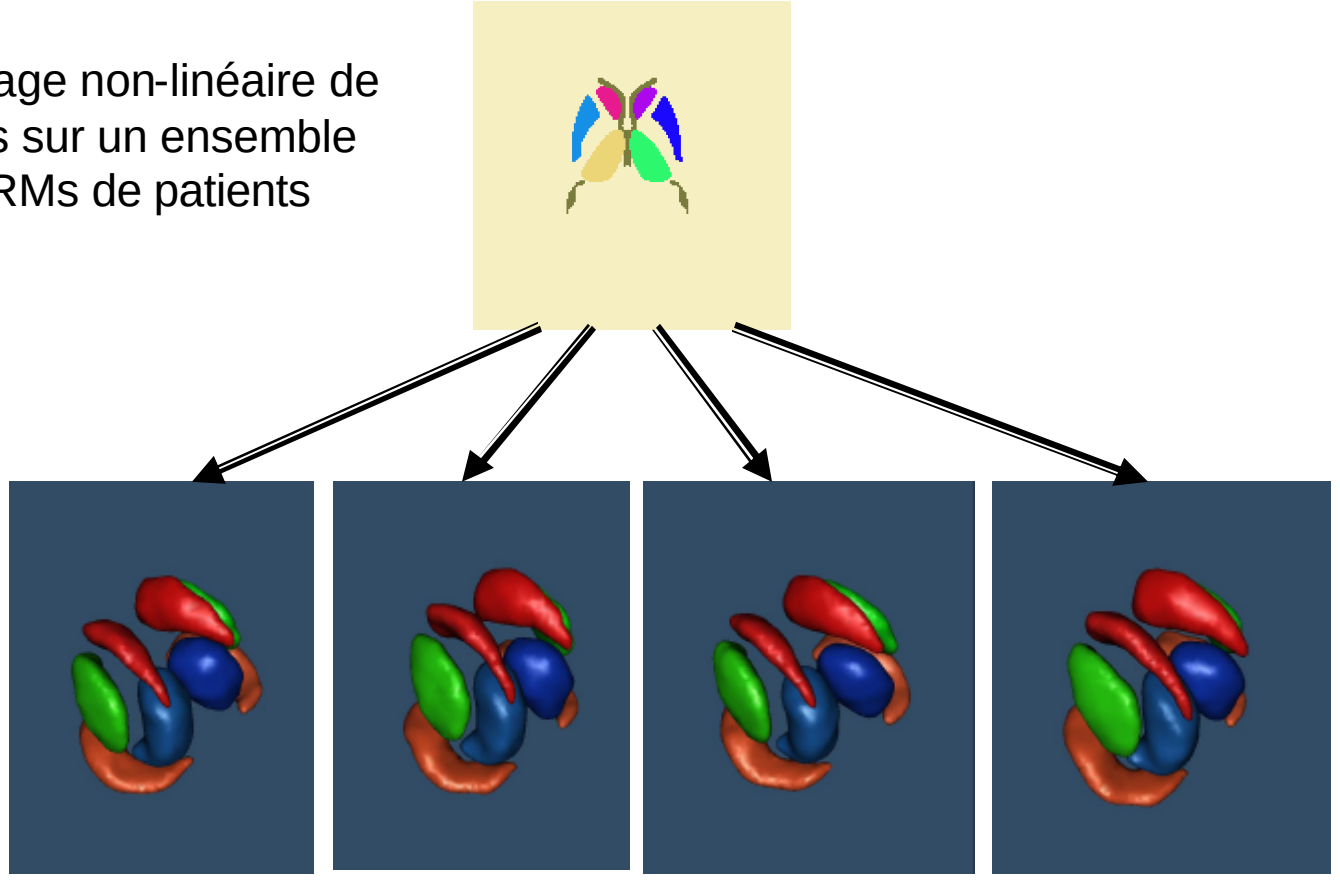
- ***Création de l'ensemble d'apprentissage 3D*.**
- Annotation de l'ensemble d'apprentissage 3D.

Difficultés:

- La segmentation est le but de notre démarche, et non un acquis.
- Nombre d'instances nécessaire pour « capturer » la variabilité d'une forme en 3 dimensions.
- Coût de la segmentation manuelle d'un seul volume.

Création d'un ensemble d'apprentissage 3D

Recalage non-linéaire de l'atlas sur un ensemble d'IRMs de patients

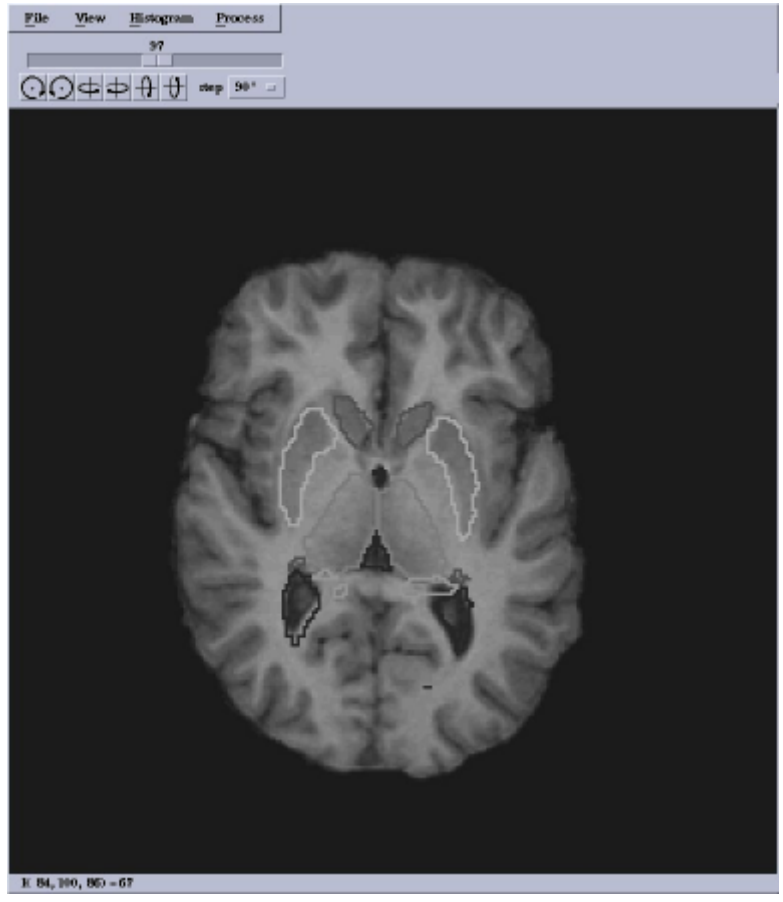


Création d'un ensemble d'apprentissage 3D

•Qualité discutable mais néanmoins satisfaisante (cf. image).

•Priorité de la variabilité de la forme sur la qualité individuelle de segmentation.

•Possibilité de raffiner l'ensemble d'apprentissage une fois le modèle préliminaire établi et exploité.



Création d'un PDM 3D

- Création de l'ensemble d'apprentissage 3D.
- ***Annotation de l'ensemble d'apprentissage 3D*.**

Approche manuelle:

- Coût par instance exorbitant.
- En pratique, processus impossible en 3D.

⟹ **Nécessité d'une méthode automatique**.

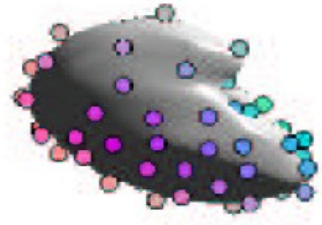
Rhodri Huw Davies, "***Learning shape: optimal models for analysing natural variability***", PhD thesis, University of Manchester, Division of Imaging Science and Biomedical Engineering, 2002.

Allan Reinhold Kildeby, ***« Building optimal 3D shape models »***, Masters thesis, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, DTU, 2002.

Annotation automatique 3D

Objectif:

Déterminer de manière objective l'annotation de l'ensemble d'apprentissage constituant le meilleur modèle PDM.



picture from Dr. Rhodri Davies

- Le nombre de landmarks étant fixé, décrire la classe d'annotations la plus complète possible pour chaque instance de forme.

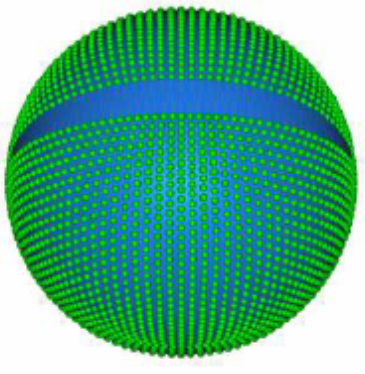
- A chaque étape, *évaluer la qualité* du modèle PDM construit selon l'annotation courante de l'ensemble d'apprentissage.

⟹ optimisation jusqu'à convergence vers un minimum.

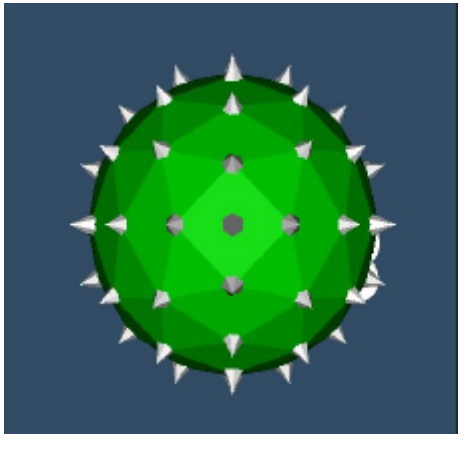
Annotation automatique 3D

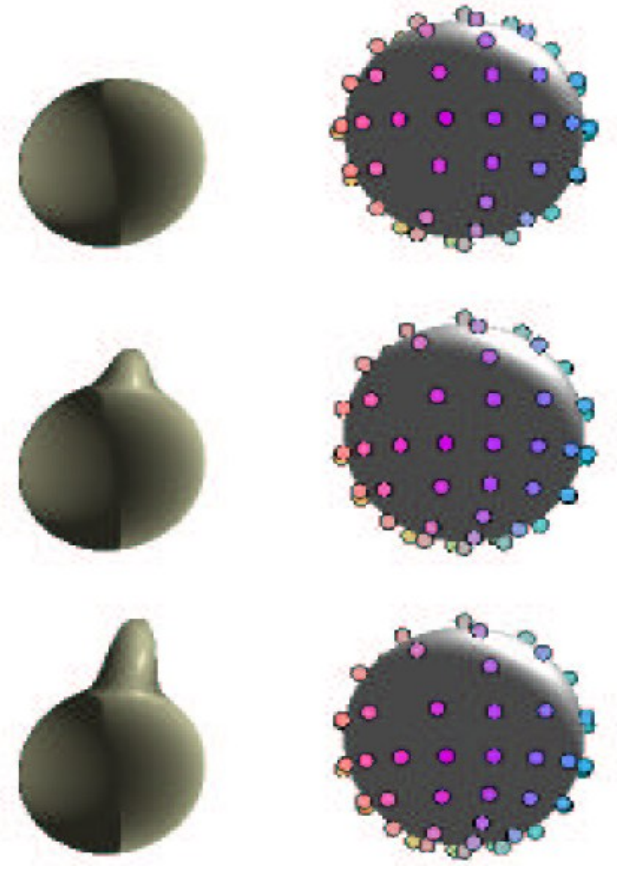
1: Modélisation d'annotations arbitraires

- Les déplacements des landmarks sont obtenus en faisant varier l'amplitude de fonctions de reparamétrisation, disposées uniformément sur la sphère.
- Une très large classe de déformation *sur une sphère* est alors modélisée avec pour seul paramètre l'amplitude de chaque fonction.



picture from Allan R. Kildeby





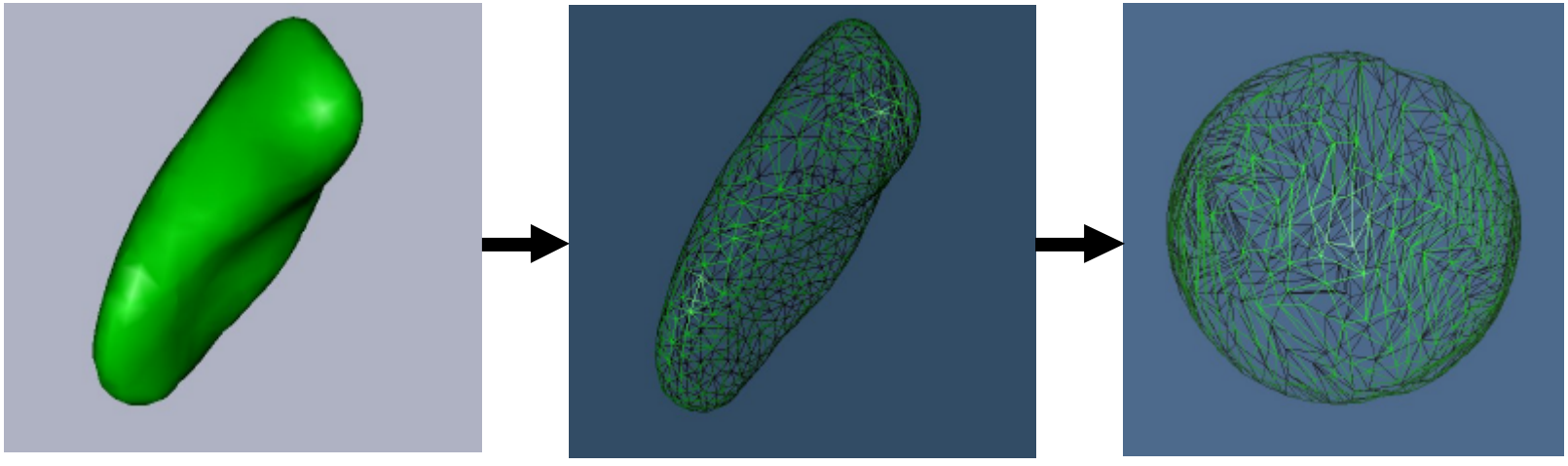
picture from Dr. Rhodri Davies

Annotation automatique 3D

2: Paramétrisation d'une instance de forme sur une sphère

- Transformation conformale, préservant les mesures d'angle.

- Optimisation par préservation des mesures de surfaces



Annotation automatique 3D

3: Evaluation de la qualité d'un modèle

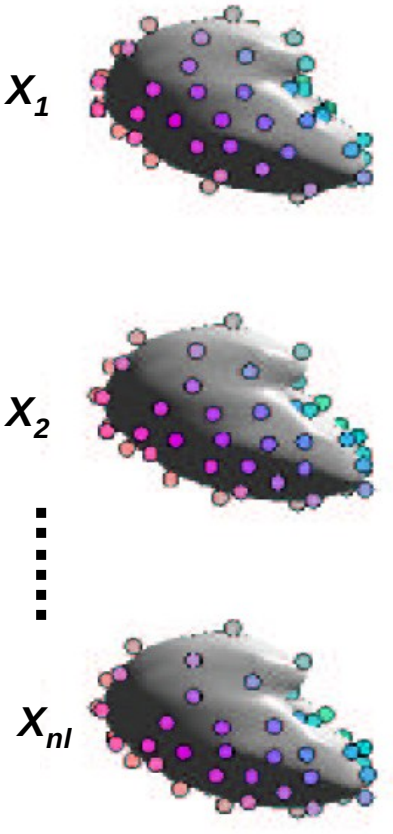
- ensemble d 'apprentissage: n_i instances de forme.
- chaque instance X_i est annotée de n_l landmarks.
- une forme moyenne X_m est déterminée.
- ACP sur matrice de covariance extrait les $3^* n_l$ vecteurs propres p_k et les valeurs propres v_k associées:

$$x_i = x_m + Pb$$

- P: $(p_1, p_2, \ldots, p_{nl})$: vecteurs propres
- b: $(b_1, b_2, \ldots, b_{nl})$: coefficients

Coût(PDM courant) =

Coût(X_m) + Coût(*modes significatifs*) + Coût(*modes résiduels*)



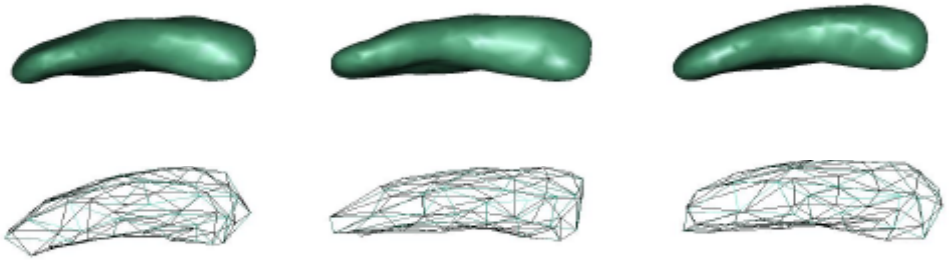
picture from Dr. Rhodri Davies

Annotation automatique 3D

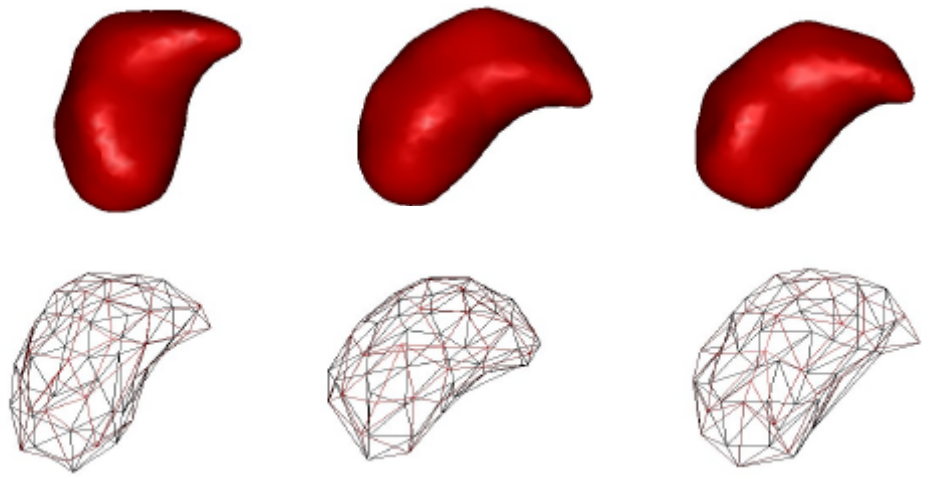
Résultats

➢**Chaque structure anatomique est annotée séparément.**

• Left Putamen:



• Left Thalamus:

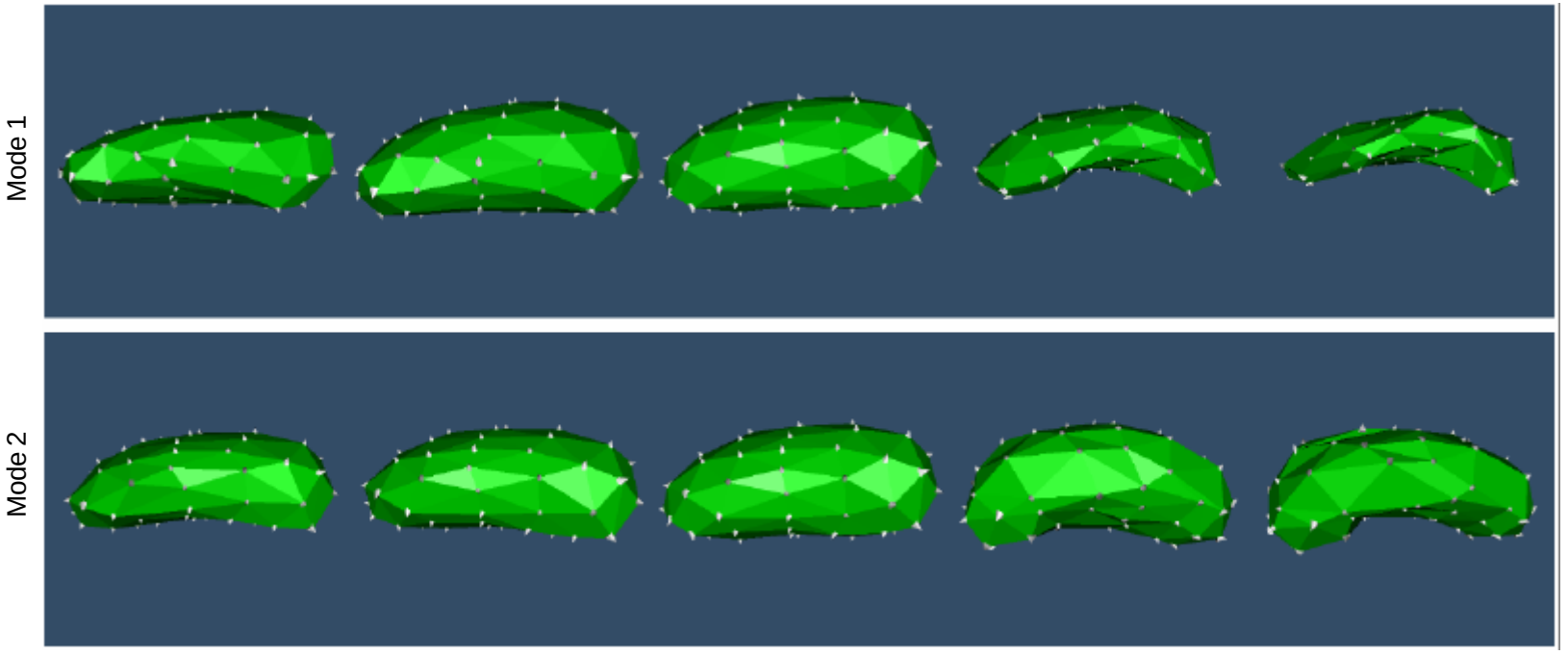


Création d'un PDM 3D

Résultats

- **Pour chaque structure d'intérêt, un PDM est déterminé.**

(modèle moyen + modes et amplitudes de variation).



Segmentation à partir de modèles statistiques

1. Méthode de segmentation 3D orientée régions.
2. Présentation du modèle de forme PDM dans le cadre d'IRMs 2D.
3. Construction d'un modèle PDM en IRM 3D.
4. ***Application à une nouvelle méthode de segmentation 3D.***

Une méthode de segmentation 3D

- Création automatique d'un modèle PDM 3D.
- Utilisation du modèle pour segmenter une nouvelle IRM.

Création automatique du PDM 3D

Base d'IRMs patients

•segmentation cortex (Markov)

Base de cerveaux + Atlas anatomique

•pré-alignement (recalage rigide).

•recalage de l'atlas (non-rigide).

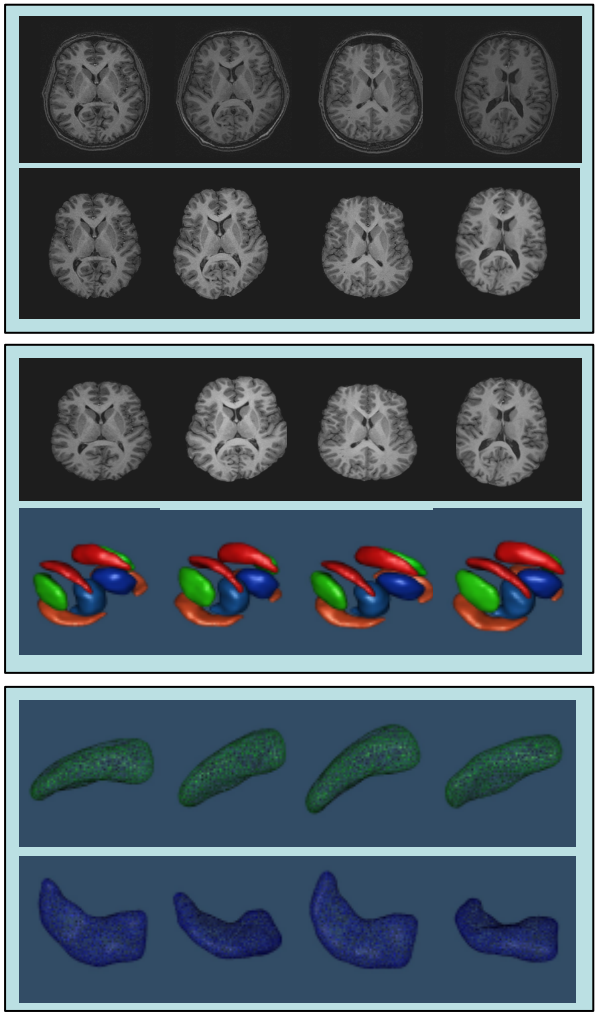
•sélection visuelle des volumes.

Base de structures volumiques

• polygonisation

(marching cubes + décimation)

Base de structures surfaciques



Création automatique du PDM 3D

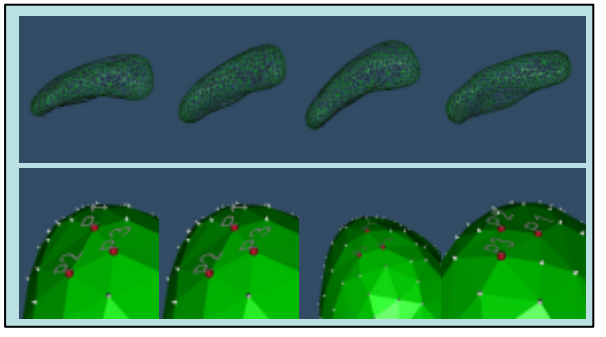
Base de structures surfaciques

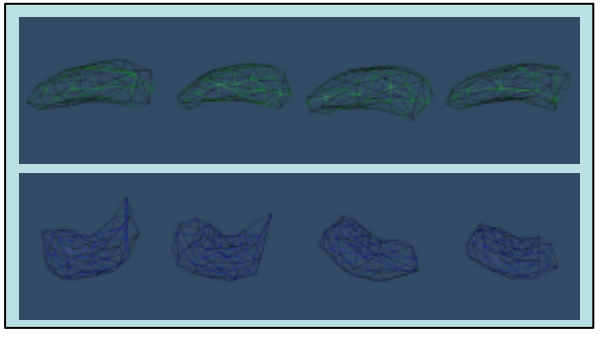
- pré-alignement (recalage rigide ICP).
- ***sélection triangle de référence.***
- recherche de landmarks (SM2 API)

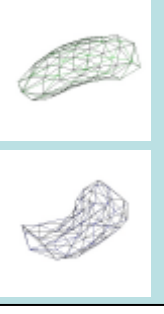
Base d'annotations de structures

- matrice de covariance
- ACP

Modèles PDM 3D de structures



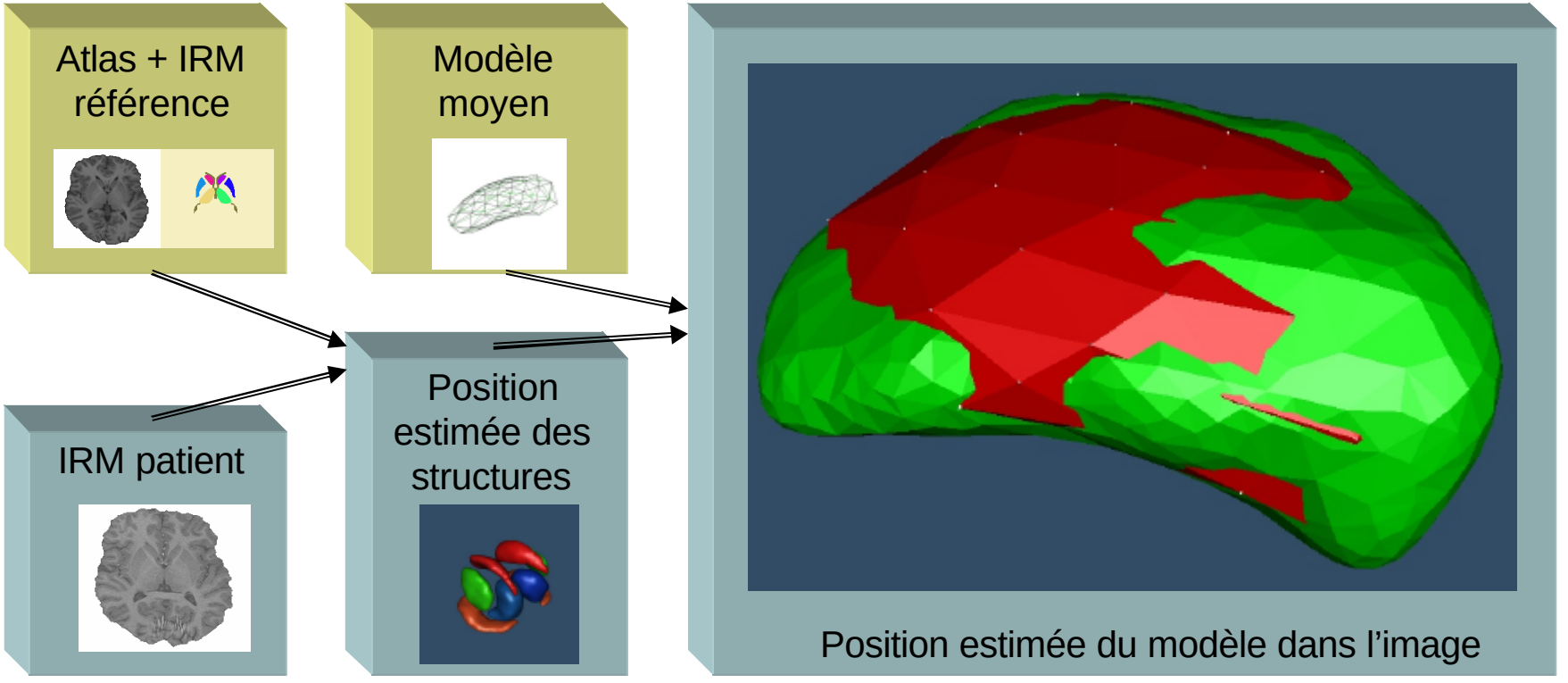




Modèles moyens + modes & amplitudes de variation

Segmentation d'IRMs cérébrales

Etape 1: Positionnement du modèle moyen



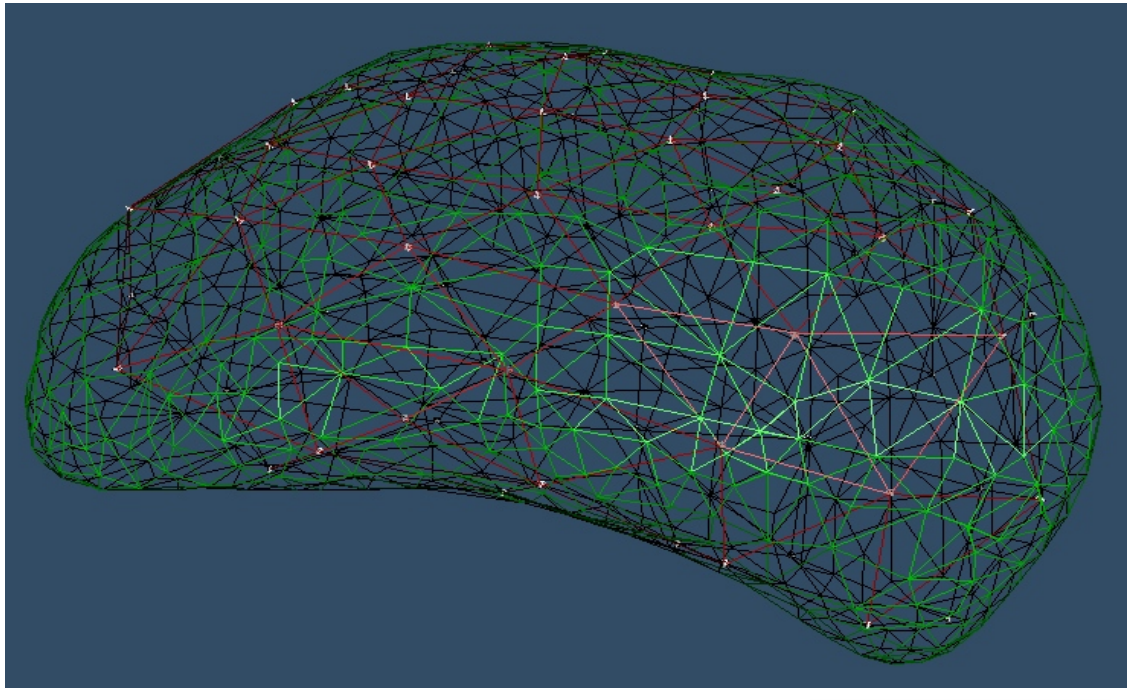
Alignement atlas sur patient (recalage non-linéaire).

Alignement modèle sur estimation.

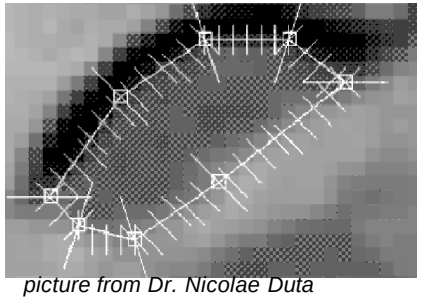
Segmentation d'IRMs cérébrales

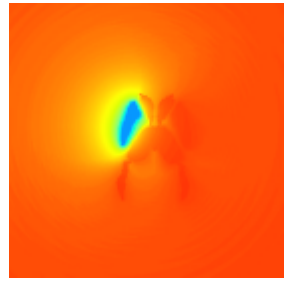
Etape 2: Adaptation du modèle à l'image IRM (Prospective)

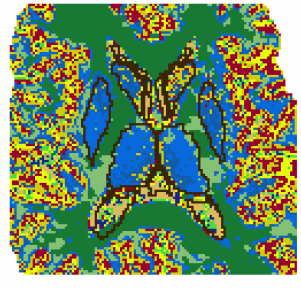
Déplacement progressif de chaque landmark suivant sa normale:



- accordant les différences de niveaux de gris aux frontières avec celles apprises.
- régulé au niveau individuel par le champ flou.
- régulé au niveau collectif par le modèle de forme.
- régulation possible selon la classe floue du voxel.







picture from Dr. Nicolae Duta

The end…

Contacts:

Equipe GREYC Image: http://www.greyc.ismra.fr/EquipeImage

Jonathan Bailleul: http://www.greyc.ismra.fr/~bailleul

Su Ruan: http://www.greyc.ismra.fr/~sruan

Daniel Bloyet: Daniel.Bloyet@greyc.ismra.fr