



Construction automatique de modèles statistiques de forme.

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

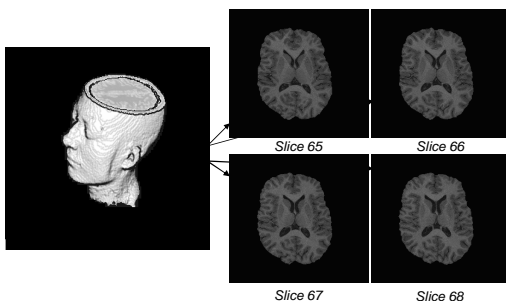
Jonathan Bailleul, Su Ruan, Daniel Bloyet

Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

- 1. Contexte.***
- 2. Etat de l'art des méthodes a priori de délinéation.***
- 3. Présentation du modèle de forme PDM.***
- 4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.***
- 5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.***
- 6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.***

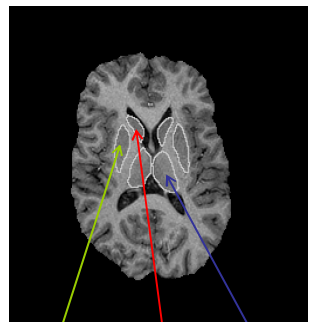
IRM cérébrale

- Type: IRM anatomique, de « routine clinique »
- Dimension: 256x256x128
- Résolution: 1mm



Délinéation de structures anatomiques d'intérêt

Noyaux centraux

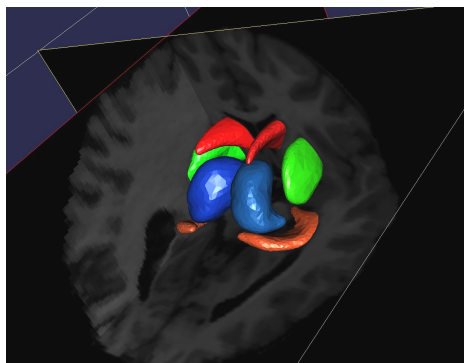


putamen noyau caudé thalamus

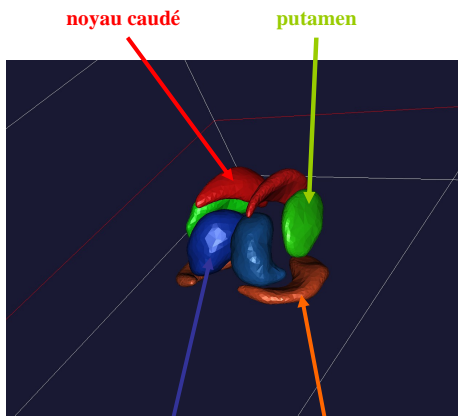
13/03/2005

GREYC Image

3



Harvard SPL



thalamus

hippocampe

13/03/2005

GREYC Image

4

Etudes statistiques sur collections d'IRM:**□ Cartographie fonctionnelle:**

Localisation anatomique (IRM) de signaux d'activation (IRMf) produits par le patient effectuant une tâche mentale (e.g calcul, lecture).

□ Caractérisation de pathologies neurologiques:

- Relation maladie de Parkinson / volume thalamus, hippocampe.
- Relation schizophrénie / forme hippocampe [Davies03].

□ Fouille de données:

Recherche de relations entre caractéristiques patients (e.g genre, préférence manuelle) et structures.

13/03/2005

GREYC Image

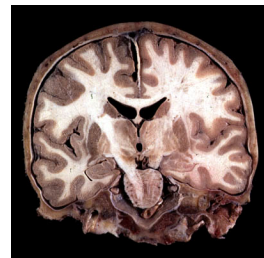
5

Contraintes de l'Imagerie par Résonance Magnétique dans un contexte anatomique**Principale difficulté****□ Sujet observé :**

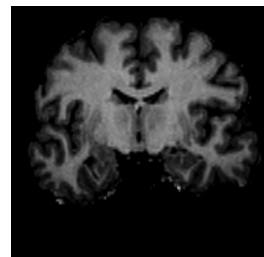
- structures inhomogènes.
- mouvements pendant l'acquisition (respiration).

□ Instrumentation RMN :

- résolution tissulaire >> résolution du dispositif.
- signal faible.
- inhomogénéités des champs magnétiques.
- bruit incoercible de l'antenne réceptrice.



CHUPS Jussieu



GIN Caen

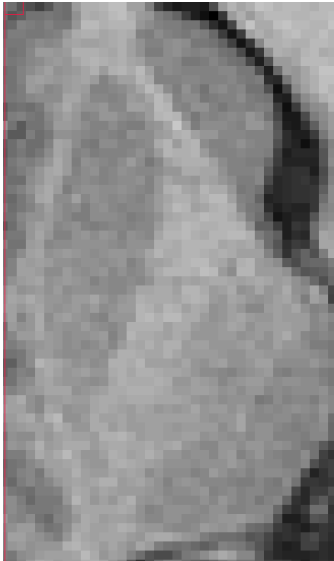
→ Faible rapport signal/bruit

13/03/2005

GREYC Image

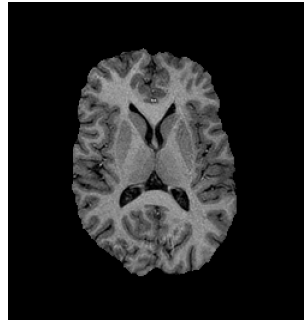
6

zoom région d'intérêt

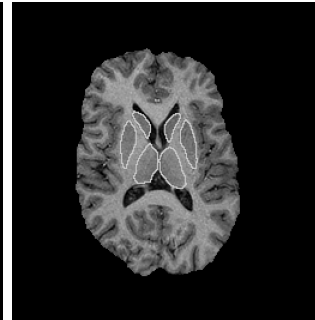


13/03/2005

Echantillon de coupe IRM



Segmentation attendue



nécessité d'information a priori

GREYC Image

7

Construction automatique de modèles statistiques de forme.

1. Contexte

2. Etat de l'art des méthodes a priori de délimitation

- ***Approches région.***
 - Méthodes "recalage-segmentation".
 - Méthodes employant la logique floue.
- ***Approches contour.***

3. Présentation du modèle de forme PDM.

4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.

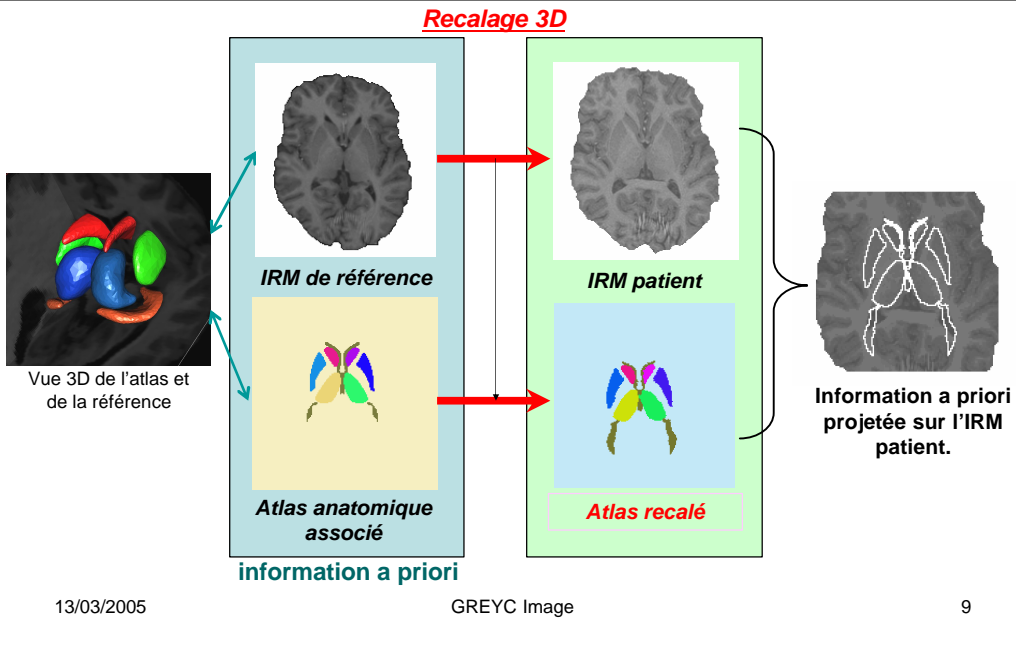
5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.

6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.

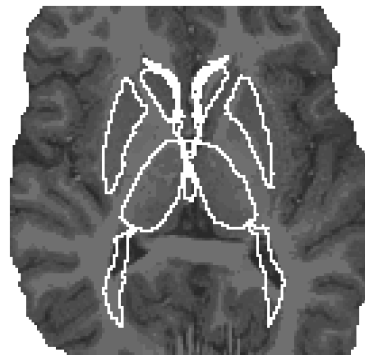
13/03/2005

GREYC Image

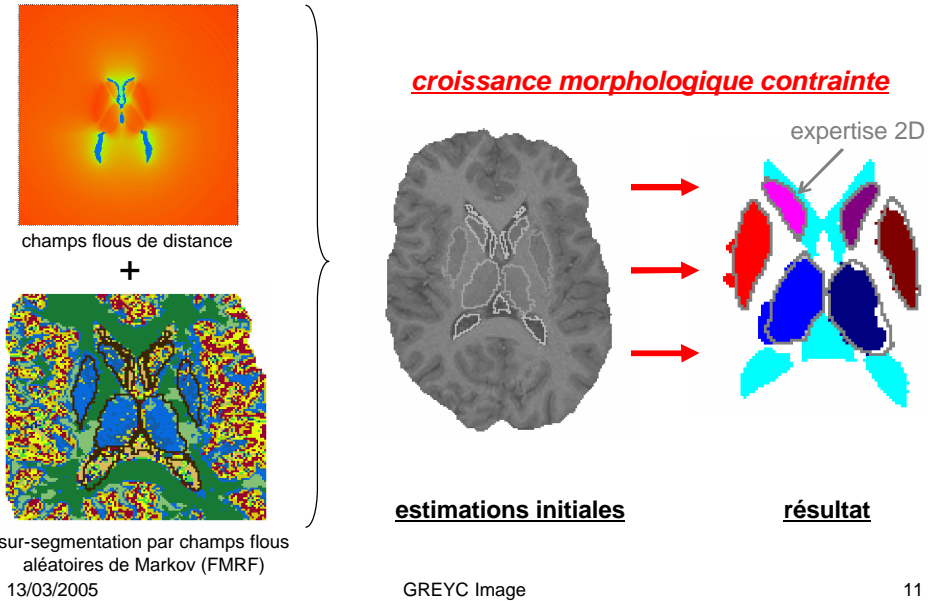
8



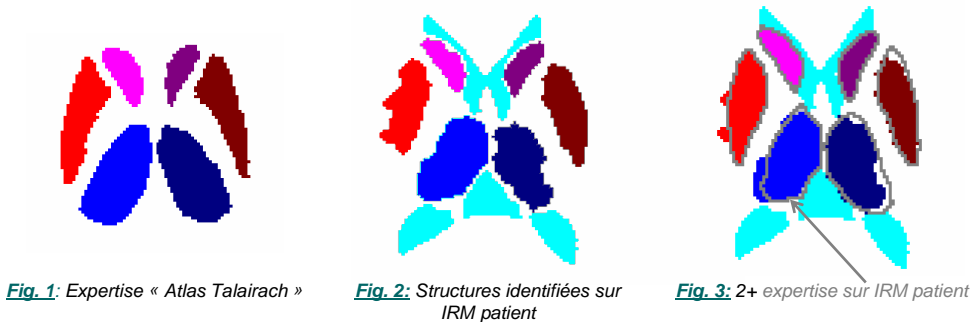
- **Atlas: une expertise individuelle généralisable?**
 - variabilité globale des IRMs (âge, etc...)
 - variabilité relative des structures d'intérêt
- **Précision d'une transformation entre IRMs?**
 - approximation d'une transformation 1-1
- **Faible taille et contraste des noyaux centraux**
 - influence dans le recalage (e.g moindres carrés des intensités)



➔ **Intérêt de méthodes pour adapter et compléter les informations de l'atlas**



11



- + • taux de couverture correct (>80%)
- + • bon positionnement.
- • disparité de forme entre contours de référence et contours obtenus.

→ **Intérêt d'un modèle contraignant la forme des contours**

13/03/2005

GREYC Image

12

- I. Bloch, T. Geraud, O. Colliot
- J.Y Boire, V. Barra, E. Frenoux

Champs flous: unificateurs de connaissances invariantes de type:

- iconique (atlas)
- symbolique
- radiométrique
- géométrique (snakes, Colliot)

Construction automatique de modèles statistiques de forme.

1. Contexte

2. Etat de l'art des méthodes a priori de délimitation

- *Approches région.*
- *Approches contour.*
 - Modèles déformables.
 - Modèles déformables statistiques.

3. Présentation du modèle de forme PDM.

4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.

5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.

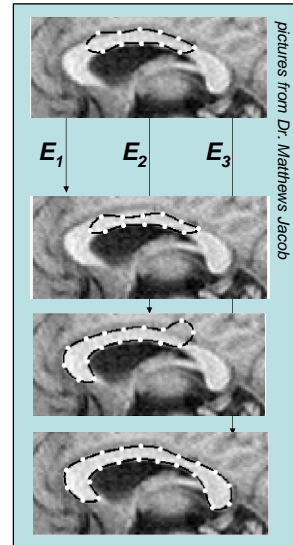
6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.

Délinéation par minimisation de la somme de deux énergies:

- a) l'**énergie externe**, qui propose un déplacement pour chaque point vers la frontière estimée.
- b) l'**énergie interne**, qui minimise:
 - La longueur du contour (élasticité)
 - La courbure du contour (rigidité)

a) et b) itérés jusqu'à minimum global

➡ La force interne est une information a priori **parfois insuffisante pour contraindre la recherche**

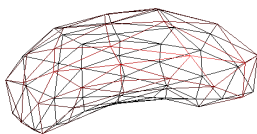


pictures from Dr. Matthews Jacob

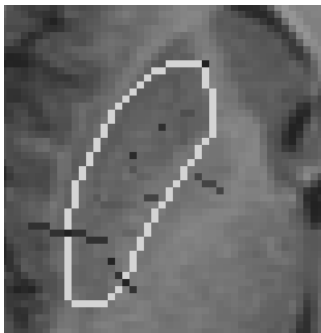
13/03/2005

GREYC Image

15



Prototype posé sur l'IRM 3D



Délinéation se déroulant itérativement par recherche d'un équilibre entre:

- a) le **Modèle d'intensité**, qui propose un déplacement pour chaque point sur la normale.
- b) le **Modèle de forme (PDM)**, qui examine et amende ces propositions pour **préserver la forme** du modèle.



➡ a) et b) itérés jusqu'à idempotence.

13/03/2005

GREYC Image

16

Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

1. Contexte.
2. Etat de l'art des méthodes a priori de délinéation.
3. Présentation du modèle de forme PDM
4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.
5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.
6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.

13/03/2005

GREYC Image

17

Point Distribution Model (PDM)

Survol

Active Shape Model (ASM)
Modèle de forme (PDM)



Donnée d'entrée: un *ensemble d'apprentissage* de la forme étudiée

Donnée produite:

un *modèle de forme*:

➤ générant des instances conformes à l'ensemble d'apprentissage.

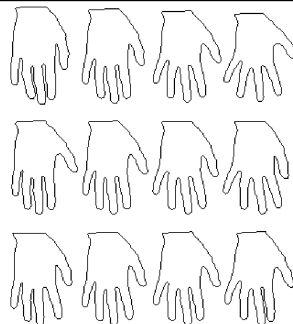
➤ déterminant si une instance donnée peut être générée.

➡ *mesure de plausibilité*

1er mode

2ème mode

3ème mode



pictures from Pr. Tim Cootes

➡ **Contraintes géométriques explicites assurées**

13/03/2005

GREYC Image

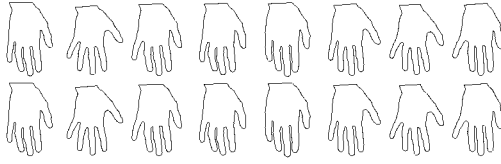
18

Point Distribution Model (PDM)

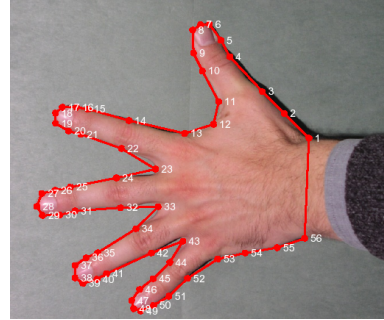
Format des données requises

Active Shape Model (ASM)

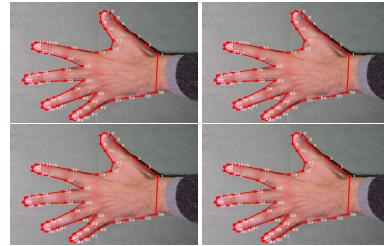
Modèle de forme (PDM)



- un pool d'*instances correctes* de la forme étudiée (contours continus).
- l'annotation de chaque instance par n points correspondants: les *landmarks*.



pictures from Dr. Mikkel B. Stegmann



13/03/2005

GREYC Image

19

Point Distribution Model (PDM)

Détails

Active Shape Model (ASM)

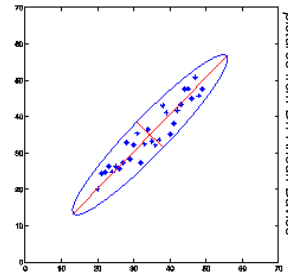
Modèle de forme (PDM)

- ensemble d'apprentissage: m instances de forme 2D.
- chaque instance est annotée de n *landmarks*
 - *approximation polygonale* X_i .
- une forme moyenne X_m est déterminée après alignement point à point des X_i .
- une ACP extrait de la matrice de covariance les vecteurs propres p_k et les valeurs propres v_k associées.

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

$$x = x_m + Pb$$

- P : (p_1, p_2, \dots, p_l), matrice des principaux vecteurs propres
- b : (b_1, b_2, \dots, b_l)^T, vecteurs de coefficients, avec $|b_k| \leq 3 \cdot \sqrt{v_k}$



pictures from Dr. Rhodri Davies

$-2\sqrt{\lambda_m}$ ← →

$m=1$



$m=2$

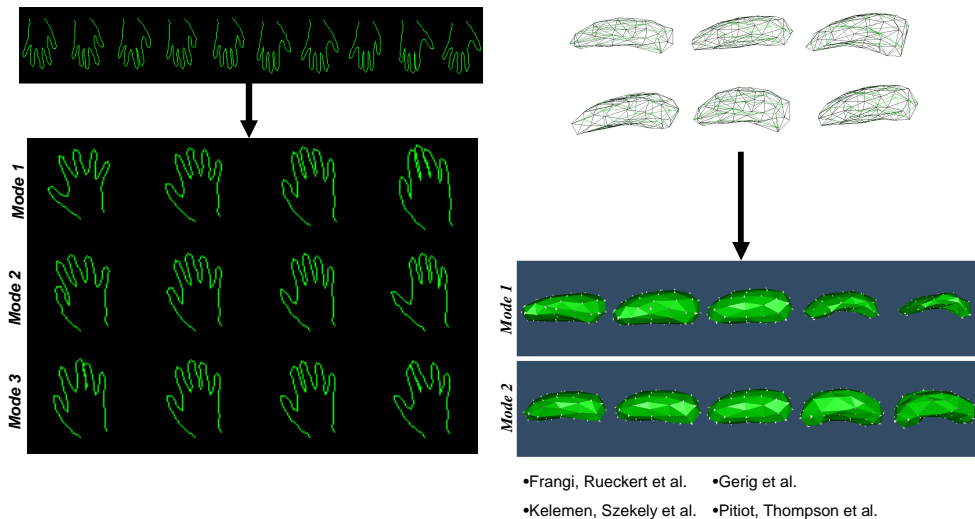


$m=3$



13/03/2005

GREYC Image



Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

1. Contexte.

2. Etat de l'art des méthodes a priori de délinéation.

3. Présentation du modèle de forme PDM.

4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.

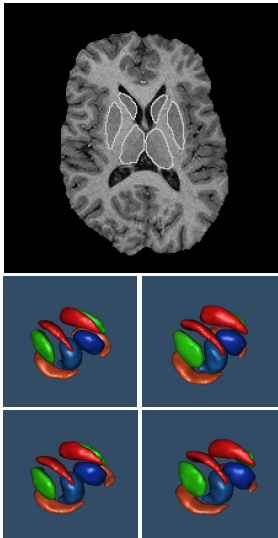
4.1. Construction automatique d'un ensemble d'apprentissage.

4.2. Annotation automatique de l'ensemble d'apprentissage.

4.3. Résumé et résultats préliminaires.

5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.

6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.



13/03/2005

L'ensemble d'apprentissage d'une structure requiert:

- la délimitation d'environ 15 coupes IRM par instance de structure.
- de 25 à 80 instances volumiques pour chaque structure.

Contraintes supplémentaires:

- problème de la variation inter/intra experts.
- de tels ensembles ne sont *pas disponibles ou diffusés*.

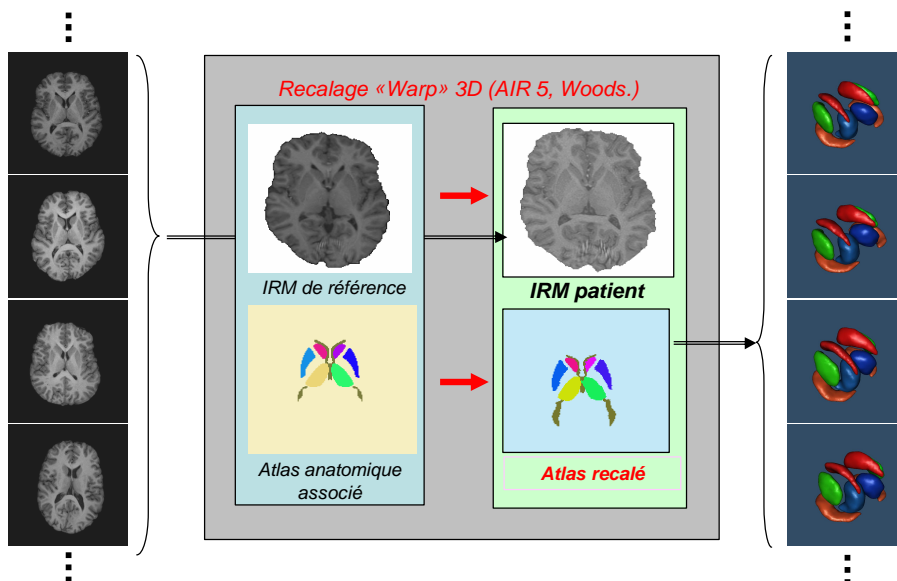
→ Paradoxe:

L'obtention de structures identifiées est notre finalité, pas notre point de départ!!

GREYC Image

23

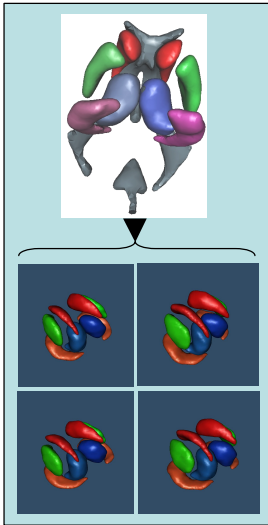
Obtention d'instances par recalage: principe



13/03/2005

GREYC Image

24



❑ précision des résultats
« décence »:

- Recalage: processus stable
- Seule contrainte du PDM:
instances plausibles

❑ forme de référence respectée

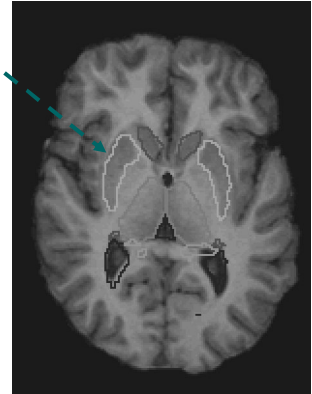
- Continuité de la transformation

❑ variabilité de forme
probablement capturée

- Critère de minimisation d'intensités
- Ventricules et surface corticale contribuent.

❑ possibilité ultérieure de raffiner
l'ensemble d'apprentissage

- Approche automatique autorise le
bootstrap



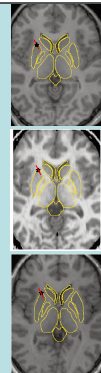
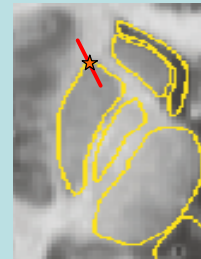
13/03/2005

GREYC Image

25

Modus operandi de l'ASM en IRM cérébrale:

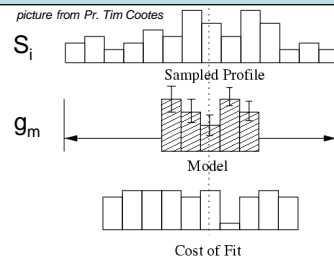
1. Les Experts tracent le contour précis de chaque instance.
2. Les Experts disposent les landmarks sur chaque instance.
3. Pour chaque landmark i , des segments de L voxels g_i sont collectés en direction normale sur chaque instance.
4. Pour chaque landmark i , un segment moyen g_m et une matrice de covariance C est calculée à partir des g_i



La plus faible **distance de Mahalanobis**

$$(S_i - g_m)^T C^{-1} (S_i - g_m)$$

désigne la position optimale de g_m sur le segment S_i ($L > l$) prélevé sur l'image.



13/03/2005

GREYC Image

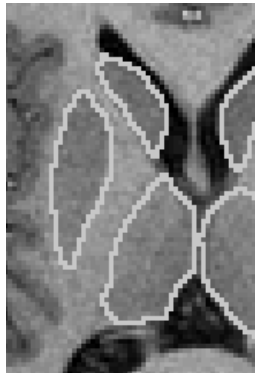
La plus faible **distance de Mahalanobis**

$$(S_i - g_m)^T C^{-1} (S_i - g_m)$$

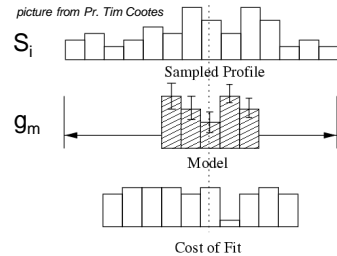
désigne la position optimale de g_m sur le segment S_i ($L > l$) prélevé sur l'image.



13/03/2005



GREYC Image



Le caractère approximatif de nos contours invalide l'emploi de ce modèle d'intensité

27

Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

1. Contexte.

2. Etat de l'art des méthodes a priori de délinéation.

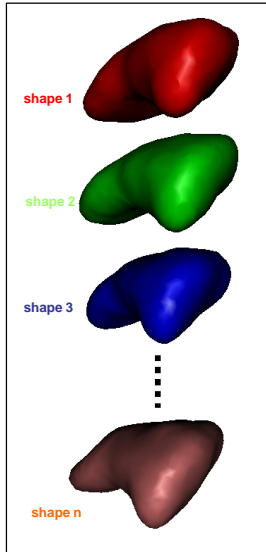
3. Présentation du modèle de forme PDM

4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.

- 4.1. Construction automatique d'un ensemble d'apprentissage.
- 4.2. **Annotation automatique de l'ensemble d'apprentissage.**
- 4.3. Résumé et résultats préliminaires.

5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.

6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.



13/03/2005

Impraticabilité de l'annotation manuelle :

- 2D: annotation manuelle courante (e.g 20 instances sur 1 couche).
- 3D: données représentent de 25 à 80 instances sur 15 couches!
- 3D: intuition de la géométrie de la forme moyenne et de sa variation?

Usage d'une méthode automatique 3D?

- longtemps spécifiques et relativement arbitraires.
- 2002: une méthode générique et optimale! [1][2].

- [1] R. H. Davies, C. J. Twining, T. F. Cootes, J. C. Waterton, C. J. Taylor, "A Minimum Description Length Approach to Statistical Shape Modeling", IEEE Transactions on Medical Imaging, 21(5), May 2002.
- [2] Allan Reinhold Kildeby, "Building optimal 3D shape models", Master's Thesis, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, DTU, Supervisor: Rasmus Larsen, 2002

GREYC Image

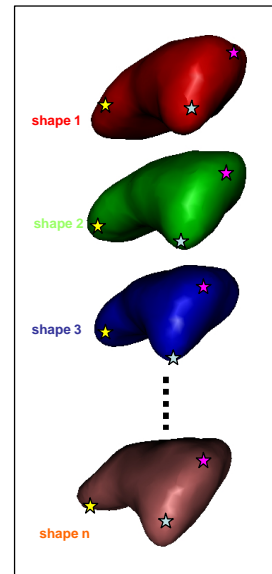
29

Principe de la méthode de Davies

Cadre d'une optimisation simplex:

- Génération d'une hypothèse paramétrique d'annotation.
- Propagation des landmarks sur l'ensemble d'apprentissage.
- Alignement Procrustes et calcul du PDM.
- **Fonction d'évaluation quantifie la pertinence** de ce PDM.
- **Le simplex désigne de nouveaux paramètres d'annotation.**

→ Itération jusqu'à solution d'annotation optimale



13/03/2005

GREYC Image

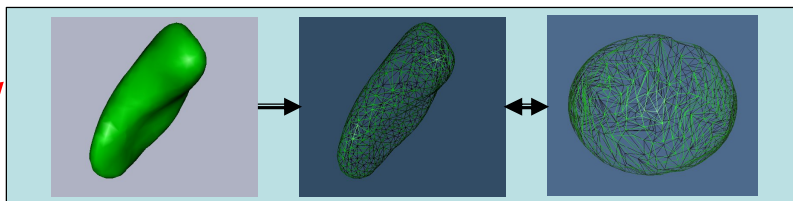
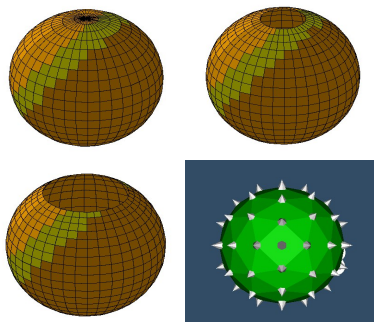
30

Pour chaque instance de forme de l'ensemble:

1. *Reparamétrisation* d'une sphère de landmarks par fonction de distribution cumulée de noyaux de Cauchy: - - - - ->

$$f(\theta) = \frac{1}{1+A} \left(\theta + \arccos \left(\frac{(1+\alpha^2) \cos \theta - 2\alpha}{1+\alpha^2 - 2\alpha \cos \theta} \right) \right)$$

2. *Projection* des landmarks de la sphère vers l'instance surfacique.



13/03/2005

GREYC Image

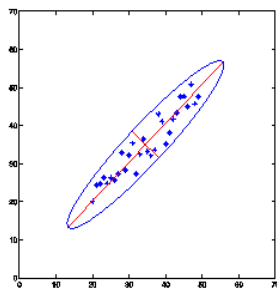
31

Principe de la fonction d'évaluation:

$$\text{MDL(PDM)} = \text{MDL}(X_m) + \text{MDL}(\text{modes significatifs}) + \text{MDL}(\text{modes résiduels})$$

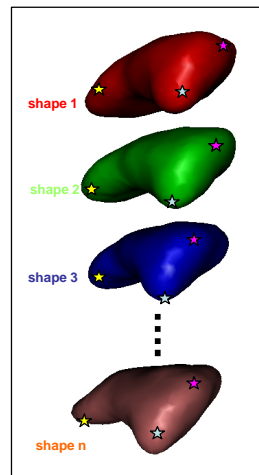
« Occam's razor » : generalization VS precision

Autre interprétation:



13/03/2005

GREYC Image



32

Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

1. Contexte.

2. Etat de l'art des méthodes a priori de délinéation.

3. Présentation du modèle de forme PDM.

4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.

4.1. Construction automatique d'un ensemble d'apprentissage.

4.2. Annotation automatique de l'ensemble d'apprentissage.

4.3. Résumé et résultats préliminaires.

5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.

6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.

13/03/2005

GREYC Image

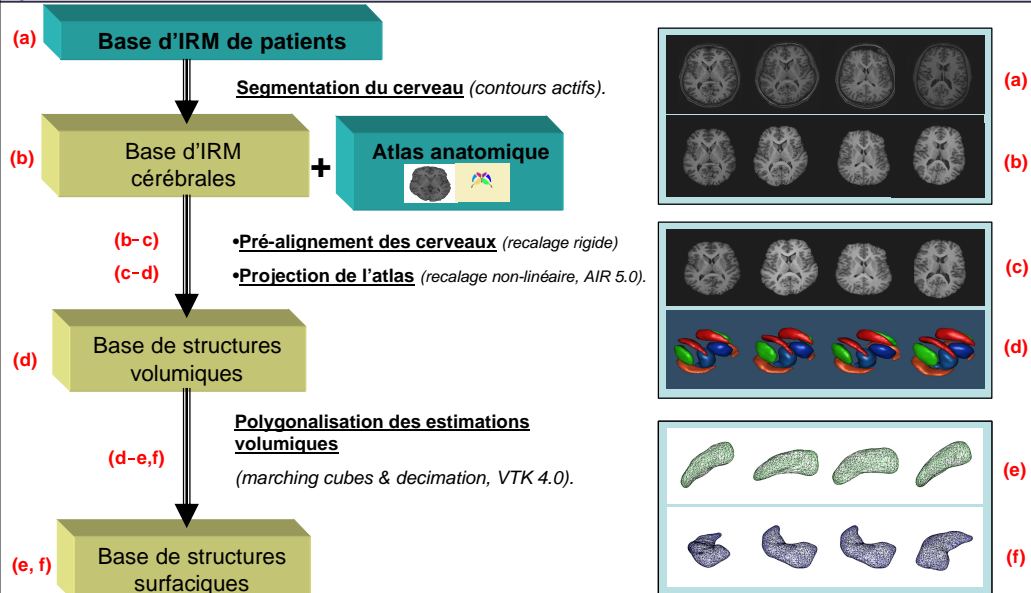
33

Etapes de la construction du modèle:

1/2

Construction automatique d'un PDM 3D

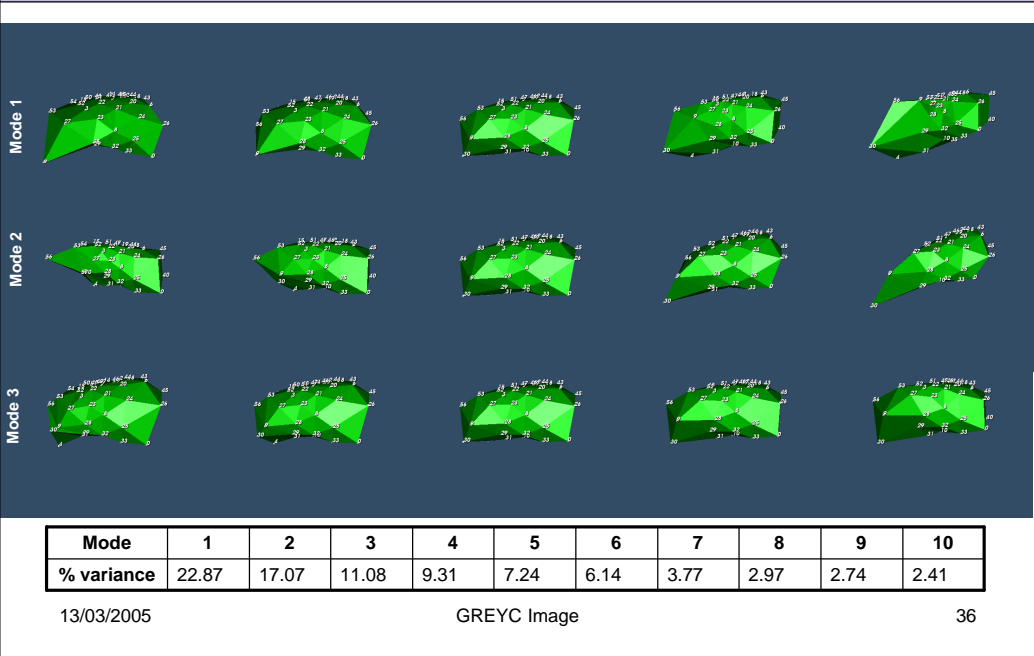
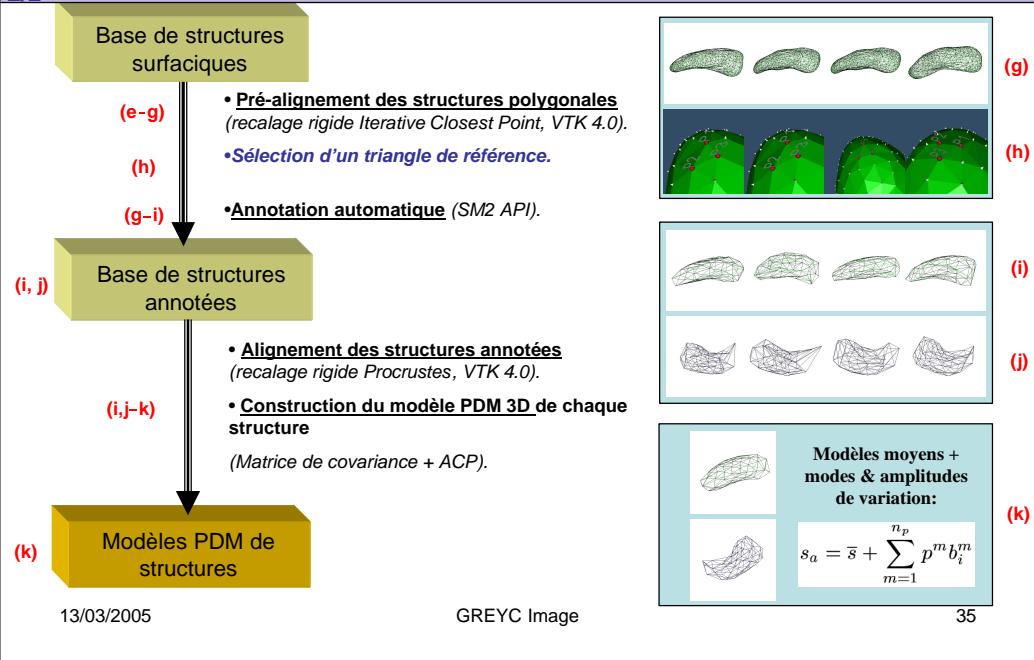
Résumé des opérations



13/03/2005

GREYC Image

34



BILAN: Méthode de construction automatique du PDM 3D

Contribution:

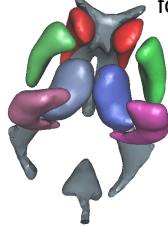
une méthode s'affranchissant de la contrainte d'un ensemble d'apprentissage déjà délinéé.

En conséquence:

- les atlas disponibles permettent de créer des PDMs de nombreuses structures.
- ajouter une structure ne requiert « *que* » sa délinéation sur un volume de référence.
- possibilité de créer des modèles à partir de populations diverses.

Limites:

- topologie des structures réduite à celle d'une sphère.
- l'annotation est optimisée pour une structure isolée et ne capture pas les riches corrélations de voisinage.
- la variabilité capturée par le PDM est (essentiellement) linéaire.
- supposition faite: le réseau de landmarks forme une approximation polygonale suffisamment précise de la forme.



13/03/2005

37

Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

- 1. Contexte.**
- 2. Etat de l'art des méthodes a priori de délinéation.**
- 3. Présentation du modèle de forme PDM.**
- 4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.**
- 5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.**
- 6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.**

13/03/2005

GREYC Image

38

Absence d'expertise précise:

- La méthode standard basée sur la méthode de Mahalanobis n'est pas applicable.
- Nous devons utiliser des critères basés uniquement sur l'IRM courante

Rechercher des critères désignant la frontière sachant:

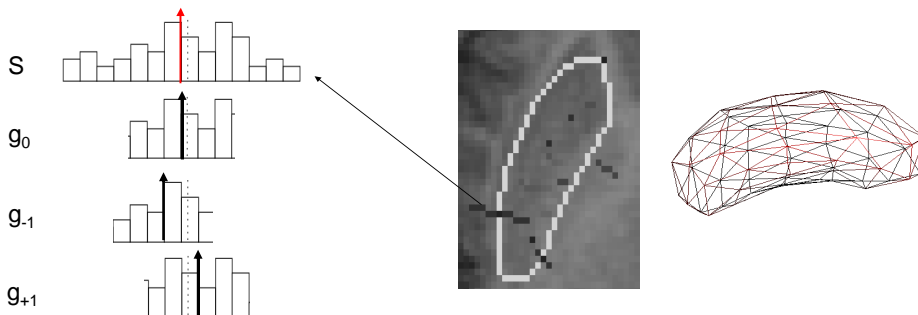
- Aucun critère n'est complètement fiable en IRM.
- La conjonction de plusieurs critères devrait être relativement fiable.
- Le modèle de forme devrait compenser certaines erreurs.

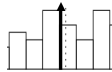
Degré de généralisation souhaité:

- critères pertinents sur toute IRM « clinique ».
- possibilité d'adaptation à une structure d'intérêt.

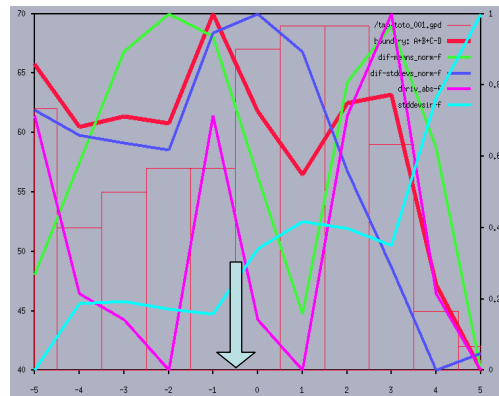
Une fois le prototype de forme positionné sur l'IRM, pour chaque landmark:

1. Collecter le segment **S** de voxels centré sur le landmark et de direction normale à la surface (repère discret, Bresenham 3D).
2. Chaque hypothèse **h_i** de frontière est représentée par un sous-segment de **2I** voxels.
3. Sélectionner l'hypothèse maximisant la différence entre intérieur et extérieur de la structure





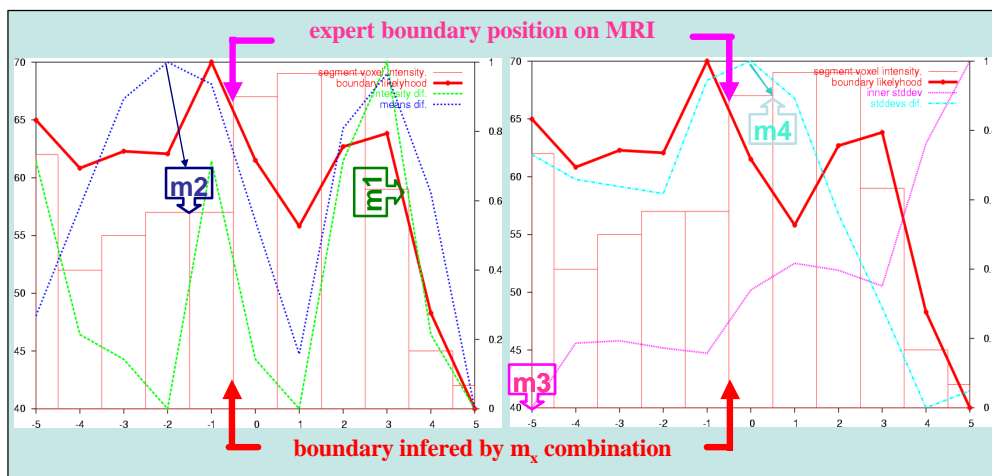
1. Frontière témoigne d'une différence d'intensité.
2. Frontière délimite des régions internes et externes de moyenne maximale.
3. Région interne plus régulière que région externe: frontière à différence maximale.
4. Région interne la plus régulière possible.
5. Normalisation séparée et filtrée de chaque source



13/03/2005

GREYC Image

41



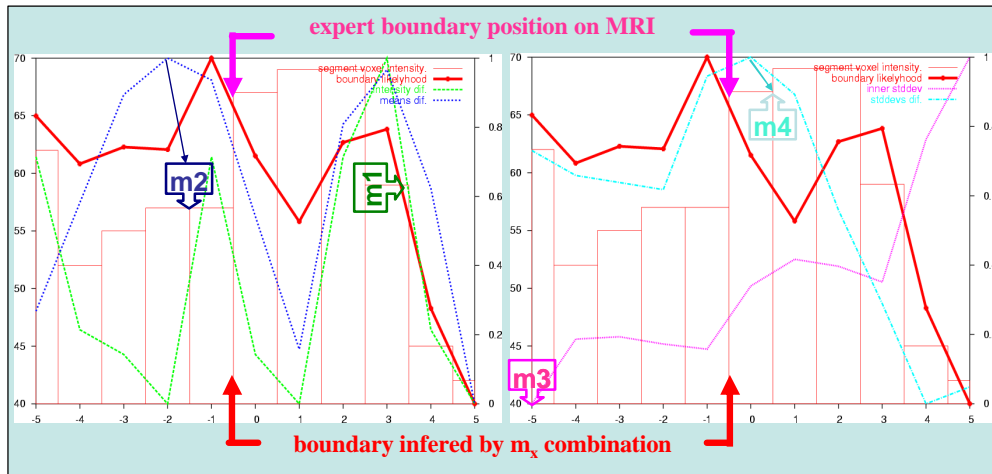
local intensity difference
 in/out means difference

inner standard deviation (keep low)
 inner/outer standard deviation difference

13/03/2005

GREYC Image

42



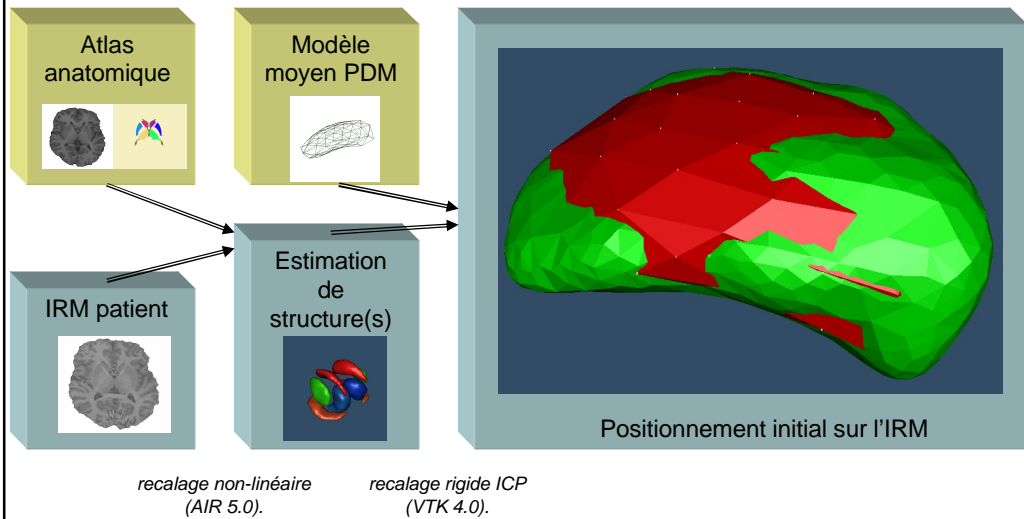
%	intensity Δ	means Δ	inner std-dev	outer/inner std-dev Δ	overall
1st peak	33	50	64	45	75
lower peak	45	33	11	33	15
critical miss	22	17	25	22	10

Construction automatique de modèles de formes à partir d'information a priori

1. Contexte.
2. Etat de l'art des méthodes a priori de délimitation.
3. Présentation du modèle de forme PDM.
4. Construction automatique d'un modèle de forme en IRM cérébrale 3D.
5. Proposition d'un modèle d'intensité adapté.
6. Perspectives: Difficultés de l'ASM en IRM 3D.

Positionnement du modèle de forme sur l'IRM patient.

Perspectives



13/03/2005

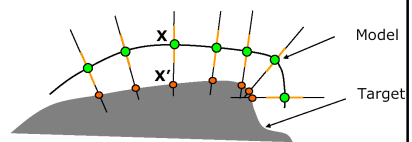
GREYC Image

45

Autres difficultés

Perspectives

- « crushing »
- estimation fiable des paramètres dans l'espace de forme: robust statistics (Rogers et al).
- régularisation interne du modèle d'intensité?
- extraction d'informations géométriques attachées aux landmarks.



picture from Dr. Marleen de Bruijne

13/03/2005

GREYC Image

46



The end...

Contacts:

Equipe GREYC Image: <http://www.greyc.ensicaen.fr/EquipeImage>

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

Su Ruan: <http://www.greyc.ensicaen.fr/~sruan>

Daniel Bloyet: Daniel.Bloyet@greyc.ensicaen.fr