

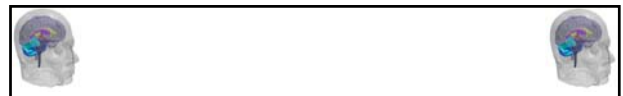


Traitement des Images Médicales  
J.-P. Armspach

---

Institut physique Biologique (IPB),  
Laboratoire Neuro Imagerie du vivant (LNV)  
UMR 7004 CNRS / Université Louis Pasteur  
Hôpitaux Universitaire Strasbourg

Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Maître HDR 2007-2008




Traitement des images médicales

---

Création et utilisation d'atlas  
anatomiques et/ou fonctionnels  
du corps humain.

Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Maître HDR 2007-2008



Classification des atlas  
En fonction de l'application (Q3)

- Les atlas de référence
- Les atlas de segmentation
- Les atlas probabilistes de comparaison (anatomique et/ou fonctionnel)
  - Atlas anatomique permet la mesure de la variabilité anatomique entre individus (comparaison d'images)
  - Atlas fonctionnel permet l'étude des variabilités d'une activité fonctionnelle entre individus

Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Maître HDR 2007-2008




Traitement des images médicales

---

Les atlas de segmentation


Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Maître HDR 2007-2008



Les atlas de segmentation  
Définition

- Permettent de segmenter une image :
  - Par transport de carte
    - Atlas de cartes label
  - Avec modèle de connaissance (connaissance a priori)
    - Carte de probabilité
      - Atlas ICBM,
      - ...
    - Information anatomique
      - Atlas de segmentation de l'arbre vasculaire cérébral avec intégration de connaissances anatomiques pour le guidage d'outils de morphologie mathématique
    - Information topologique

Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Maître HDR 2007-2008



Les atlas de segmentation  
Définition

- Permettent de segmenter une image :
  - Par transport de carte
    - Atlas de cartes label
  - Avec modèle de connaissance (connaissance a priori)
    - Carte de probabilité
      - Atlas ICBM,
      - ...
    - Connaissances à priori anatomique
      - Atlas de segmentation de l'arbre vasculaire cérébral avec intégration de connaissances anatomiques pour le guidage d'outils de morphologie mathématique
    - Connaissances à priori topologique

Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Maître HDR 2007-2008

## Atlas de carte label

### Que décrit-il ?

- Une carte segmentée de l'image de référence. Cette segmentation peut correspondre à des structures anatomiques, des régions vasculaires, des régions fonctionnelles, ....

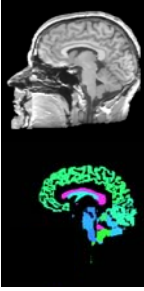


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHU Membre ICFP 2007-2008

## Atlas de carte label

### Construction de l'Atlas

- Construction d'une carte labellisée à partir d'une segmentation manuelle, semi-automatique, automatique, ... d'une image de référence.
- Cette image de référence servira pour le recalage des images à segmenter.

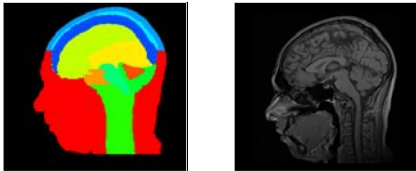


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHU Membre ICFP 2007-2008

## Atlas de carte label

### Que décrit-il ?

- Une carte segmentée de l'image de référence. Cette segmentation peut correspondre à des structures anatomiques, des régions vasculaires, des régions fonctionnelles, ....

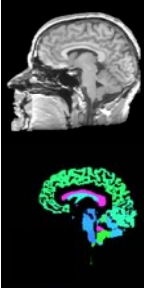


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHU Membre ICFP 2007-2008

## Atlas de carte label

### Construction de l'Atlas

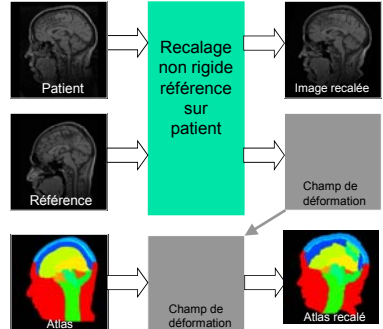
- Construction d'une carte labellisée à partir d'une segmentation manuelle, semi-automatique, automatique, ... d'une image de référence.
- Cette image de référence servira pour le recalage des images à segmenter.



Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHU Membre ICFP 2007-2008

## Atlas de carte label

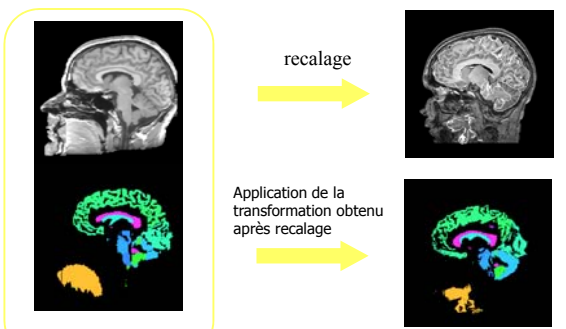
### Utilisation de l'Atlas



Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHU Membre ICFP 2007-2008

## Atlas de carte label

### Utilisation de l'Atlas



Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHU Membre ICFP 2007-2008

## Les atlas de segmentation

### Définition

- Permettent de segmenter une image :
  - Par transport de carte
    - Atlas de cartes labels
  - Avec modèle de connaissance (connaissance a priori)
    - Carte de probabilité de tissus
      - Atlas ICBM,
      - ...
    - Connaissances à priori anatomiques
      - Atlas de segmentation de l'arbre vasculaire cérébral avec intégration de connaissances anatomiques pour le guidage d'outils de morphologie mathématique
    - Connaissances a priori topologiques

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Médecin ICF 2007-2008

## Les atlas de segmentation

### Méthodologie

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Médecin ICF 2007-2008

## Atlas ICBM

### Que décrit-il ?

- Carte de probabilité des tissus cérébraux ;  
Substance Blanche (SB), Substance Grise (SG),  
Liquide Céphalorachidien (LCR)

Carte probabilité des tissus cérébraux

SG SB LCR Masque cerveau

**International Consortium for Brain Mapping**

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Médecin ICF 2007-2008

## Atlas ICBM

### Construction de l'atlas ICBM

- Les cartes de probabilité de présence des tissus cérébraux (substance blanche, substance grise, LCR) sont obtenues :
  - Par recalage de 452 images T1 sur l'atlas MNI,
  - Correction inhomogénéité de champs,
  - Segmentation de chaque image en substance blanche, grise et LCR
  - Construction des cartes de probabilité pour chaque tissu

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Médecin ICF 2007-2008

## Atlas ICBM

### Utilisation de l'atlas ICBM

- Objectif : segmenter une image cérébrale en trois composantes en utilisant une connaissance a priori basée sur un atlas de carte de probabilité des tissus
  - Substance blanche (SB)
  - Substance grise (SG)
  - Liquide céphalo-rachidien (LCR)

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Médecin ICF 2007-2008

## Atlas ICBM

### Utilisation de l'atlas ICBM

Modélisation de l'histogramme de l'image !

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Médecin ICF 2007-2008



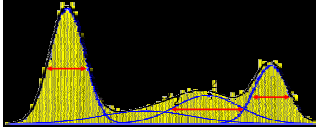
## Atlas ICBM

### Utilisation de l'atlas ICBM

#### Modélisation par un mélange de gaussienne

- Les intensités sont modélisées par un mélange de K distributions gaussiennes, paramétrées par :

- moyennes  $\mu_k$
- variances  $\sigma_k^2$
- Proportions de mélanges  $\gamma_k$



Traitement images médicales - Jean-Paul LAMMICHIEU Master 1997-2000

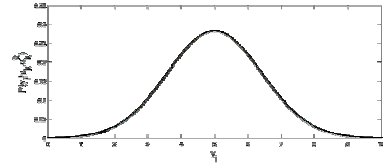


## Atlas ICBM - Utilisation

### Densité de probabilité gaussienne

- Si les intensités suivent une loi gaussienne de moyenne  $\mu_k$  et de variance  $\sigma_k^2$ , alors la probabilité d'une valeur  $y_i$  est :

$$P(y_i | \mu_k, \sigma_k^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \exp\left(-\frac{(y_i - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right)$$



Traitement images médicales - Jean-Paul LAMMICHIEU Master 1997-2000



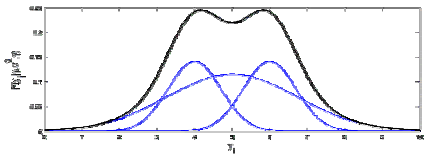
## Atlas ICBM - Utilisation

### Densité de probabilité non-gaussienne

- Une fonction de densité de probabilité non gaussienne peut être modélisée par un mélange de gaussienne :

$$P(y_i | \mu, \sigma^2, \gamma) = \sum_{k=1}^K \gamma_k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \exp\left(-\frac{(y_i - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right)$$

Proportion de mélange - positif et somme = 1



Traitement images médicales - Jean-Paul LAMMICHIEU Master 1997-2000



## Atlas ICBM - Utilisation

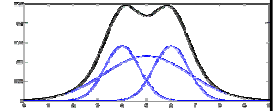
### Proportion de mélange

- La proportion de mélange  $\gamma_k$  représente la probabilité a priori d'un voxel d'être de la classe K indépendamment de son intensité.

$$P(c_i = k | \gamma) = \gamma_k$$

- Ainsi :

$$P(y_i | \mu, \sigma^2, \gamma) = \sum_{k=1}^K P(y_i, c_i = k | \mu, \sigma^2, \gamma) \\ = \sum_{k=1}^K P(c_i = k | \gamma) P(y_i | c_i = k, \mu, \sigma^2)$$



Traitement images médicales - Jean-Paul LAMMICHIEU Master 1997-2000



## Atlas ICBM - Utilisation

### Probabilité pour tous les voxels

- Si les voxels sont considérés être indépendants, alors la probabilité de l'ensemble de l'image est le produit des probabilités de chaque voxel :

$$P(\mathbf{y} | \mu, \sigma^2, \gamma) = \prod_{i=1}^I P(y_i | \mu, \sigma^2, \gamma)$$

- Il est souvent plus facile de travailler avec des valeurs négatives de probabilité log :

$$-\log(P(\mathbf{y} | \mu, \sigma^2, \gamma)) = -\sum_{i=1}^I \log(P(y_i | \mu, \sigma^2, \gamma))$$

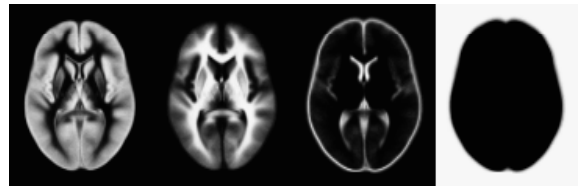
Traitement images médicales - Jean-Paul LAMMICHIEU Master 1997-2000



## Atlas ICBM - Utilisation

### Cartes de probabilité des tissus

- Les cartes de probabilité des tissus sont utilisées à la place des proportions de voxel dans chaque gaussienne comme a priori.



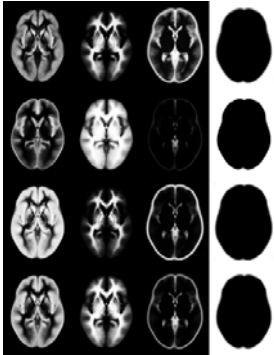
Atlas probabiliste des tissus (ICBM).

Traitement images médicales - Jean-Paul LAMMICHIEU Master 1997-2000

### Atlas ICBM - Utilisation

#### "Mélange des proportions"

- La carte de probabilité des tissus pour chaque classe est recalée sur l'image à segmentée.
- La probabilité d'obtenir la classe  $k$  au voxel  $i$ , pour une proportion de mélange  $\gamma$  est alors :

$$P(c_i = k | \gamma) = \frac{\gamma_k b_{ik}}{\sum_{j=1}^K \gamma_j b_{ij}}$$


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHI Membre ICFP 2007-2008

### Atlas ICBM - Utilisation

#### Le modèle avec a priori

- En combinant  $P(c_i=k|\theta)$  modifié par la carte de probabilité des tissus et  $P(y_i|c_i=k,\theta)$ , la fonction de coût ( $E$ ) à minimiser s'écrit :

$$E = -\sum_{i=1}^I \log[P(y_i|\theta)] = -\sum_{i=1}^I \log \left[ \sum_{k=1}^K P(c_i = k | \theta) P(y_i | c_i = k, \theta) \right]$$

$$= -\sum_{i=1}^I \log \left[ \frac{\sum_{k=1}^K \gamma_k b_{ik}}{\sum_{j=1}^K \gamma_j b_{ij}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \exp\left(-\frac{(y_i - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right) \right]$$

**La fonction de coût à minimiser avec les trois paramètres à estimer**

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHI Membre ICFP 2007-2008

### Atlas ICBM - Utilisation

#### Estimation des paramètres par EM

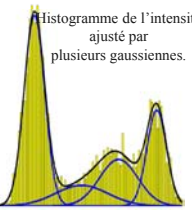
- L'estimation des paramètres au sens du maximum de vraisemblance grâce à l'algorithme de Espérance – Maximisation (Expectation-Maximisation) (EM).
- Méthode itérative
  - Étape d'espérance E
  - Étape de maximisation M

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHI Membre ICFP 2007-2008

### Atlas ICBM - Utilisation

#### Utilisation de l'atlas ICBM : segmentation

- Chacune des 3 classes d'une image (la substance blanche (SB), la substance grise (SG) et le liquide céphalo-rachidien (LCR)) est modélisée par une distribution gaussienne.
- L'algorithme EM (Expectation-Maximisation) permet de calculer les paramètres du modèle de mélange de gaussienne et de classer chaque voxel dans une classe.
- Un atlas (modèle a priori pour chaque classe) permet d'apporter une connaissance spatiale a priori dans le modèle



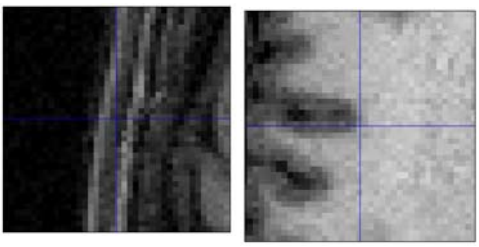
Modèle a priori				
Image:				
	SG	SB	LCR	Crâne

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHI Membre ICFP 2007-2008

### Atlas ICBM - Utilisation

#### Segmentation avec l'atlas ICBM : limitation

#### Bruit et effet de volume partiel



- Les effets de volume partiel modifie l'histogramme -> plus de distributions gaussiennes

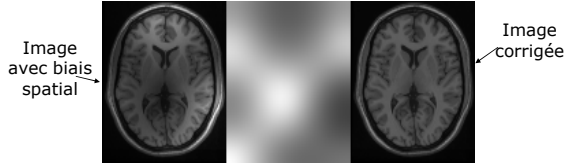
Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHI Membre ICFP 2007-2008

### Atlas ICBM - Utilisation

#### Segmentation avec l'atlas ICBM : limitation

#### Biais spatial (du au champs radio-fréquence)

Les IRM sont corrompus par une non uniformité basse fréquence de l'intensité dans l'images



Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACHI Membre ICFP 2007-2008

## Atlas ICBM - Utilisation

### Segmentation avec l'atlas ICBM : limitation

Une erreur de recalage sur l'image de référence diminue la qualité de la segmentation. La figure ci-dessous montre l'effet d'une translation par rapport à l'image de référence avant la segmentation.

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Membre ICF 2007-2008

## Atlas ICBM - Utilisation

### Segmentation avec l'atlas ICBM : limitation

- Considère que seule la substance blanche, la substance grise, le LCR, compose le cerveau.
  - Pas de modèles pour les lésions (tumeurs, stroke, etc)
- Le modèle probabiliste des a priori est basé sur une population relativement jeune sans pathologie.
  - Donc pas très approprié pour les sujets en dehors de cette population (Avec atrophie, ...).
- Nécessite des images de qualités raisonnables
  - Sans artefacts
  - Bonne séparation des intensités

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Membre ICF 2007-2008

## Les atlas de segmentation

### Définition

- Permettent de segmenter une image :
  - Par transport de carte
    - Atlas de cartes labels
  - Avec modèle de connaissance (connaissance a priori)
    - Carte de probabilité
      - Atlas ICBM,
      - ...
    - Connaissances à priori anatomique
      - Atlas de segmentation de l'arbre vasculaire cérébral avec intégration de connaissances anatomiques pour le guidage d'outils de morphologie mathématique
  - Connaissances à priori topologique

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Membre ICF 2007-2008

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Que décrit-il ?

- Des connaissances anatomiques de l'arbre vasculaire cérébral pour le guidage d'outils de morphologie mathématique qui vont permettre de segmenter des images obtenues par ARM (Angiographie par Résonance Magnétique).

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Membre ICF 2007-2008

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Que décrit-il ?

- Modélisation de l'anatomie des structures vasculaires cérébrales en terme de :
  - densité vasculaire (probabilité de présence d'un vaisseau),
  - taille des vaisseaux (moyenne et écart type),
  - Orientation des vaisseaux (moyenne et écart type).

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Membre ICF 2007-2008

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Construction de l'atlas

- **Protocole de création automatique en 3 étapes**
  - Extraction de connaissances (densité vasculaire, taille des vaisseaux, orientation)
  - Recalage sur une référence
  - Fusion de données => Atlas
- **Entrée**
  - Base d'images de phase PC-MRA (segmentées)
  - Base d'images module PC-MRA associée
  - Image de référence

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Membre ICF 2007-2008

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Construction de l'atlas

densité vasculaire

$$\mathcal{A}^d : I \rightarrow [0, 1]$$

$$\mathbf{x} \mapsto d$$

$$\forall \mathbf{x} \in I, \mathcal{A}^d(\mathbf{x}) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{seg}^i((D^i)^{-1}(\mathbf{x}))$$

Taille des vaisseaux

$$\mathcal{A}^t : I \rightarrow \mathcal{P}(\mathbb{R}^+)$$

$$\forall \mathbf{x} \in I, \mathcal{A}^t(\mathbf{x}) = [\max\{0, a(\mathbf{x}) - \sigma_a(\mathbf{x}), a(\mathbf{x}) + \sigma_a(\mathbf{x})\}]$$

$$a(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0 & \text{si } N(\mathbf{x}) = 0 \\ \frac{1}{\text{card}(N(\mathbf{x}))} \sum_{i \in N(\mathbf{x})} p_{th}^i((D^i)^{-1}(\mathbf{x})) & \text{sinon} \end{cases}$$

$$N(\mathbf{x}) = \{i \in [0, n-1] \mid p_{seg}^i((D^i)^{-1}(\mathbf{x})) = 1\}$$

Traitement images médicales - Jean-Pol ARNDT/M2/Master I2P 2017-2018

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Construction de l'atlas

Orientation des vaisseaux

$$\mathcal{A}^o : I \rightarrow \mathcal{P}([0, \pi] \times [0, \pi])$$

$$\mathbf{x} \mapsto o$$

$$\forall \mathbf{x} \in I, \mathcal{A}^o(\mathbf{x}) = \Theta(\mathbf{x}) \times \Phi(\mathbf{x})$$

$$\Theta(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0 & \text{si } N(\mathbf{x}) = 0 \\ [0, \pi] & \text{si } N(\mathbf{x}) \neq 0 \text{ et } \sigma_\theta(\mathbf{x}) \geq \pi/4 \\ [\theta(\mathbf{x}) - \sigma_\theta(\mathbf{x}), \theta(\mathbf{x}) + \sigma_\theta(\mathbf{x})] \pmod{\pi} & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\Phi(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0 & \text{si } N(\mathbf{x}) = 0 \\ [0, \pi] & \text{si } N(\mathbf{x}) \neq 0 \text{ et } \sigma_\phi(\mathbf{x}) \geq \pi/4 \\ [\phi(\mathbf{x}) - \sigma_\phi(\mathbf{x}), \phi(\mathbf{x}) + \sigma_\phi(\mathbf{x})] \pmod{\pi} & \text{sinon} \end{cases}$$

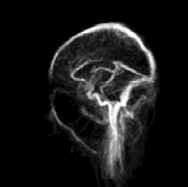

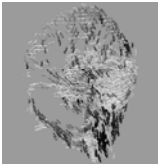
$$\theta(\mathbf{x}) = \sum_{i \in N(\mathbf{x})} \frac{1}{\text{card}(N(\mathbf{x}))} p_{ske,\theta}^i((D^i)^{-1}(\mathbf{x}))$$

$$\phi(\mathbf{x}) = \sum_{i \in N(\mathbf{x})} \frac{1}{\text{card}(N(\mathbf{x}))} p_{ske,\phi}^i((D^i)^{-1}(\mathbf{x}))$$

Traitement images médicales - Jean-Pol ARNDT/M2/Master I2P 2017-2018

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Construction de l'atlas

MIP de l'image de probabilité de présence des vaisseaux.      MIP de l'image de taille des vaisseaux (moyenne)      Visualisation 3D de l'orientation des vaisseaux

Traitement images médicales - Jean-Pol ARNDT/M2/Master I2P 2017-2018

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Utilisation de l'atlas : Opérateur morpho-math

- **Objectif :**  
Utiliser l'atlas avec la connaissance a priori, la densité vasculaire (probabilité de trouver un vaisseau), la taille et l'orientation des vaisseaux, pour guider la segmentation d'une image ARM.
- **Outils employés en morphologie mathématique**  
Transformée en tout ou rien à niveaux de gris (TTRNG)
- **Rappels sur la TTRNG**  
Opérateur de morphologie mathématique permettant de détecter des motifs en fonction de leur forme et de celle du fond dans leur voisinage. Approche adaptée en niveaux de gris (Ronse, Soille).


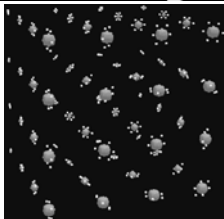
Traitement images médicales - Jean-Pol ARNDT/M2/Master I2P 2017-2018

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Utilisation de l'atlas : Opérateur morpho-math

- **Intérêt de la TTRNG**  
Possibilité d'utiliser des éléments composites dont la structures est adaptée à la recherche de structures vasculaires dans les images ARM.
- **Éléments composites proposés**
  - Élément « objet » (vaisseau) : sphère A
  - Élément « fond » : cercle échantillonné B

=> Pas un élément composite mais toute une classe d'éléments présentant des paramètres variables pour le rayon de A, le rayon de B, l'orientation de B (plus des paramètres d'intensité...)


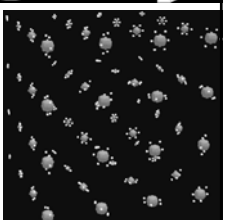



Traitement images médicales - Jean-Pol ARNDT/M2/Master I2P 2017-2018

## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Utilisation de l'atlas : Opérateur morpho-math

- **Segmentation**  
Pour chaque point de l'image de phase à segmenter, si la densité de l'atlas est suffisante, appliquer tous les couples d'ES définis par l'atlas. Si un couple d'ES convient, dilater le point courant par l'élément A de l'ES.

Traitement images médicales - Jean-Pol ARNDT/M2/Master I2P 2017-2018

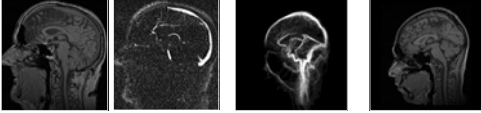




## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Utilisation de l'atlas : Opérateur morpho-math

- **Utilité de l'atlas**  
Restreindre l'espace des paramètres afin d'obtenir une segmentation de qualité identique en un temps raisonnable.
- **Entrée**
  - une image module
  - une image ARM PC (phase)
  - L'atlas
  - l'image référence associée à l'atlas
- **Sortie**
  - une image à niveaux de gris du flux sanguin (NG équivalent à une mesure d'épaisseur)

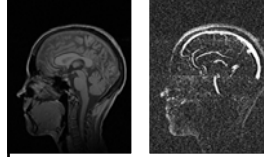


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Master 2007-2008



## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Utilisation de l'atlas : Résultat

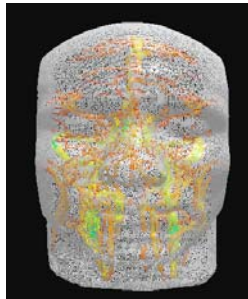


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Master 2007-2008



## Atlas de segmentation arbre vasculaire

### Exemple - Résultats



Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFACH Master 2007-2008