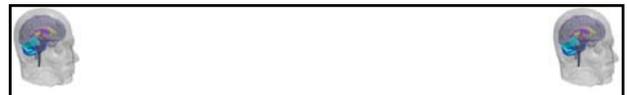




Traitement des Images Médicales
J.-P. Armspach

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 Membre ICFP 2007-2008



Traitement des images médicales

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

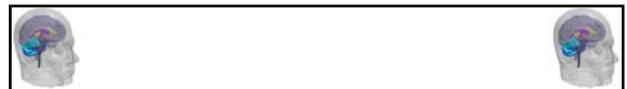
Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Membre ICFP 2007-2008



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 Membre ICFP 2007-2008



Traitement des images médicales

Les atlas probabilistes de comparaison

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



Atlas probabilistes de comparaison

- Représente les variations de l'architecture cérébrale d'une population donnée.
- Peut être utilisé pour analyser aussi bien les variabilités anatomiques que fonctionnelles
 - Identifier et étudier les variabilités d'une population
 - Comparer des populations différentes
 - Détecter une pathologie (différence de forme, de fonctions, ...) (comparaison un individu versus une population)
 - Classifier

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

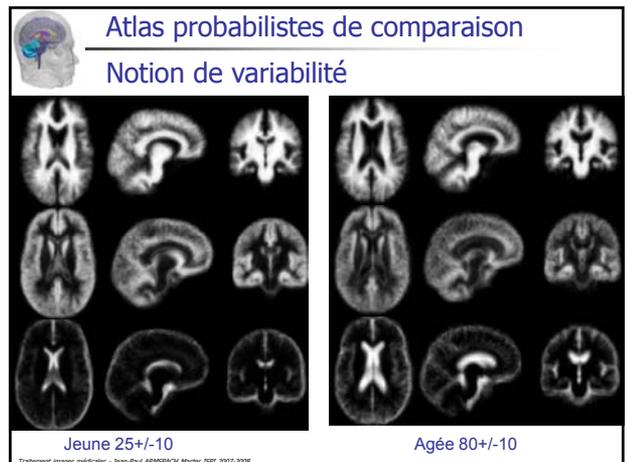
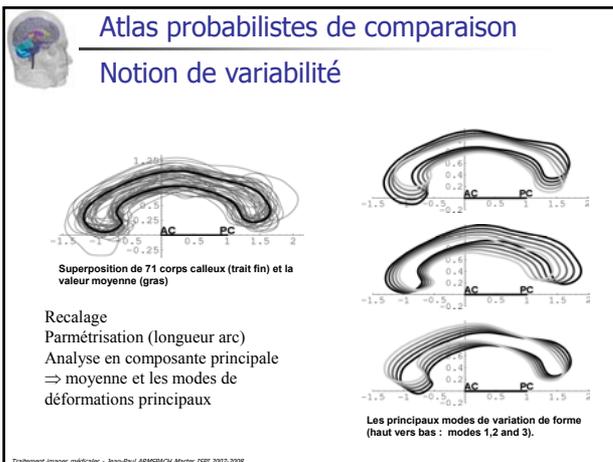
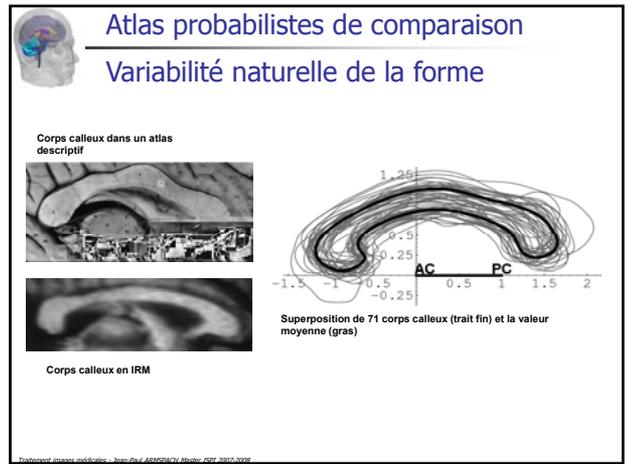
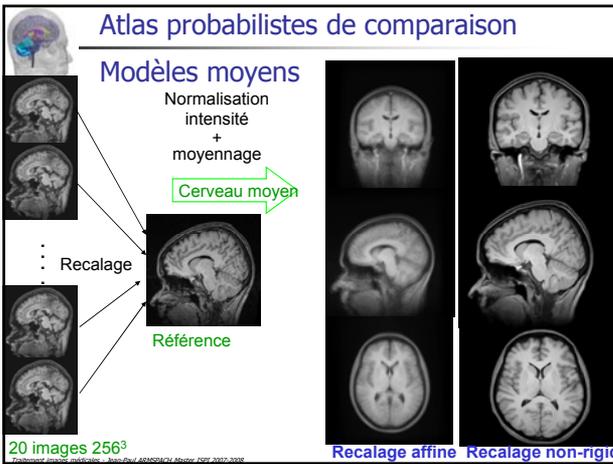
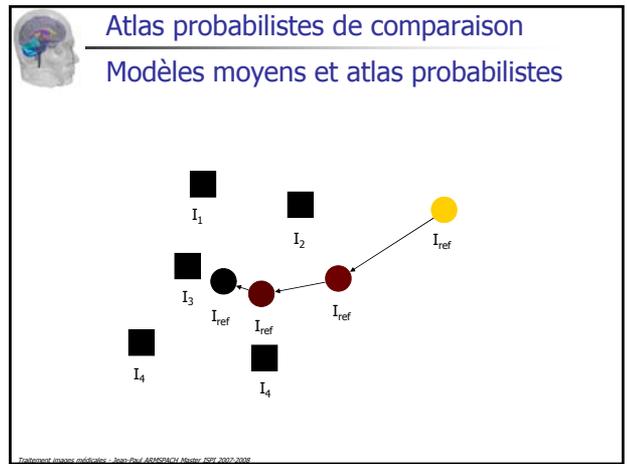
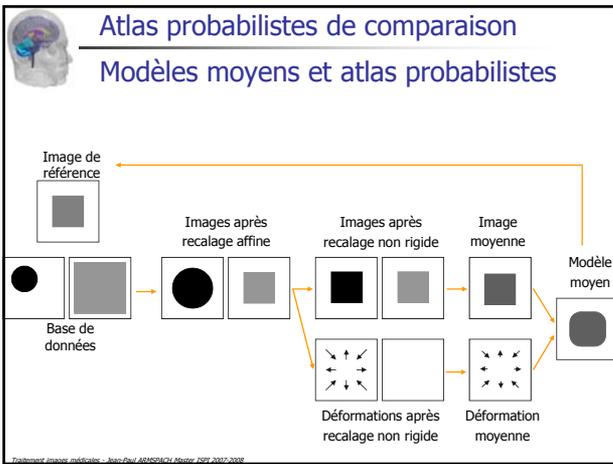


Atlas probabilistes de comparaison

Approches multiples

- Approches basés sur l'intensité
 - Voxel Based Morphometry (VBM) avec le logiciel Statistical Parametric Mapping (SPM)
 - Atlas fonctionnel : atlas de perfusion cérébrale
- Approches basés sur les déformations
 - Deformation based Morphometry (DBM) (SPM, ...),
 - analyse du champ de déformation
- Approches basés sur des descripteurs
 - Atlas basés sur des cartes segmentées puis classification par SVM de points caractéristiques (RAVENS et HAMMER)
 - Atlas de déformation de courbes caractéristiques (cortical) (Thomson, Toga)

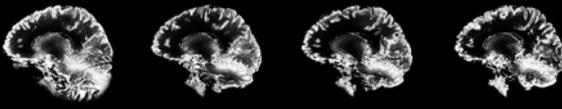
Traitement images médicales - Jean-Paul ARMSPACH Membre ICFP 2007-2008



Atlas VBM

Que décrit-il ?

- Voxel Based Morphometry (VBM)
 - VBM décrit la quantité de substance grise ou de toutes autres structures anatomiques.
 - VBM est une analyse statistique (univariée) par voxel permettant de détecter des différences régionales de quantité de substance grise, entre différentes populations d'individus.
 - Analyse réalisée après suppression des informations de différences de position et forme



SG de quatre individus

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISERANT, Médecin, ICF 2007-2008

Atlas VBM

Construction de l'atlas

- VBM n'est pas un atlas à proprement dit. Cependant il s'en approche dans le sens où il modélise un groupe d'individu et permet de localiser les différences morphologiques entre soit
 - deux populations
 - un individu et une population.

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISERANT, Médecin, ICF 2007-2008

Atlas VBM

Construction de l'atlas

- La construction de l'atlas comprend :
 - Un pré-traitement
 - recalage non rigide (affine dans la version de base) des images à analyser dans un même référentiel
 - segmentation de la substance grise ou SB ou LCR.
 - Une spécification du modèle qui permet de décrire au mieux les données expérimentales
 - Une estimation des paramètres du modèle sur les données traitées
 - une étude statistique pour chaque voxel qui permettra de détecter des modifications locales de quantité de substance grise entre deux populations ou un individu versus un groupe.

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISERANT, Médecin, ICF 2007-2008

Atlas VBM

Construction de l'atlas : prétraitement

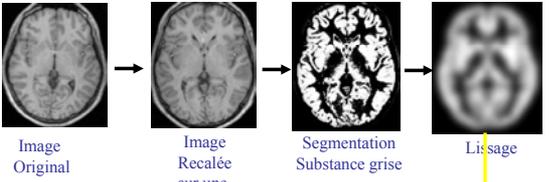
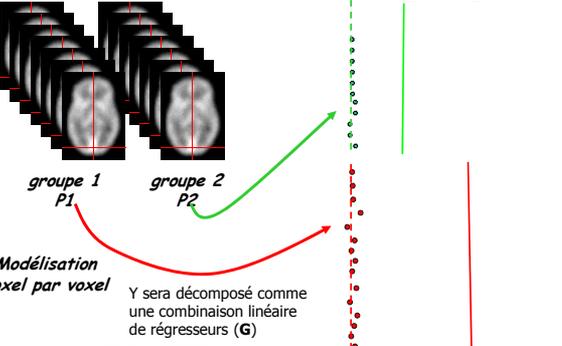


Image Original → Image Recalée sur une image de référence → Segmentation Substance grise → Liéssage → **Construction**

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISERANT, Médecin, ICF 2007-2008

Atlas VBM

Construction : Modèle linéaire généralisé

$$Y = G_1 \beta_1 + G_2 \beta_2$$


groupe 1 P1 groupe 2 P2

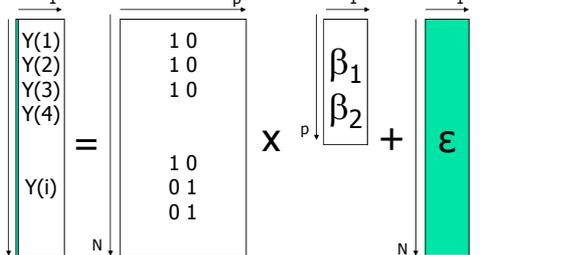
Modélisation voxel par voxel

Y sera décomposé comme une combinaison linéaire de régresseurs (G)

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISERANT, Médecin, ICF 2007-2008

Atlas VBM

Construction : Model linéaire généralisé

$$Y = G\beta + \epsilon$$


Le modèle est caractérisé
-par la matrice G (matrice de design)
-et les hypothèses sur ϵ (erreur)

N : nombre d'images ($P_1 + P_2$)
p : nombre de régresseurs
 β : paramètres ou coefficient de régression

Traitement images médicales - Jean-Paul AMISERANT, Médecin, ICF 2007-2008



Atlas VBM

Construction : Estimation des coefficients de régression

$$Y = G\beta$$

Solution standard des moindres carrés

$$G^T Y = (G^T G) b$$

$$(G^T G)^{-1} G^T Y = (G^T G)^{-1} (G^T G) b$$

$$((G^T G)^{-1} G^T) Y = b$$

$\hat{\beta}$ est "la meilleure estimation" par les moindres carrés de β

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



Atlas VBM

Construction : Estimation des coefficients de régression

- Paramètres inconnus du modèle linéaire

$$Y = G\beta + \varepsilon$$

- Les coefficients de régression β
- La matrice de variance du bruit $V = \text{Var}(\varepsilon)$

- On veut estimer:

- Les coefficients de régression $\rightarrow \hat{\beta}$
- L'incertitude sur cette estimation $\rightarrow \text{Var}(\hat{\beta})$

- Ceci nécessite d'estimer également la matrice de variance V du bruit (hyper-paramètres)

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



Atlas VBM

Construction : Estimation des coefficients de régression dans le cas d'un bruit blanc

- Estimation de β aux moindres carrés
 - Minimisation de $\|Y - G\beta\|^2$ par rapport à β
 - La solution est explicite: $\hat{\beta} = (G^T G)^{-1} G^T Y$

Estimation de la variance de l'estimateur

$$\text{Var}(\hat{\beta}) = \hat{\sigma}^2 (G^T G)^{-1} \quad \text{avec} \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-p} \|Y - G\hat{\beta}\|^2$$

Dans le cas d'un bruit auto corrélé, cette technique est:

- Non biaisée mais sous optimale pour l'estimation de β
- Biaisée pour l'estimation de la variance de $\hat{\beta}$

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



Atlas VBM

Utilisation : estimation des contrastes

- Cette étape permet de répondre à la question : Y-a-t il une différence de substance grise pour ce voxel entre deux groupes d'individus ?
- Pour ce faire on va comparer les deux coefficients des régresseurs. Dans le langage SPM on va créer une carte de contraste.

- On s'intéresse à un *contraste*

- Combinaison linéaire de paramètres
- Vérité (inconnue): $\beta_1 - \beta_2$ Estimée: $\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2$

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



Atlas VBM

Utilisation : tests statistiques (T-Student).

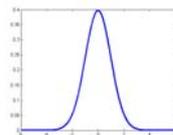
- Hypothèse nulle
 - (H_0) « Le contraste vaut zéro » : $\beta_1 - \beta_2 = 0$

- On forme la statistique de décision:

$$T = \frac{\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2)}}$$

- Sous H_0 , la loi de T est bien approchée par une distribution de Student

- Les degrés de liberté dépendent de la méthode d'estimation



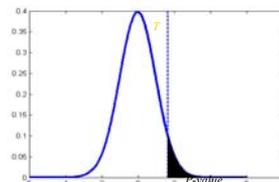
Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFAROU Master 2007-2008



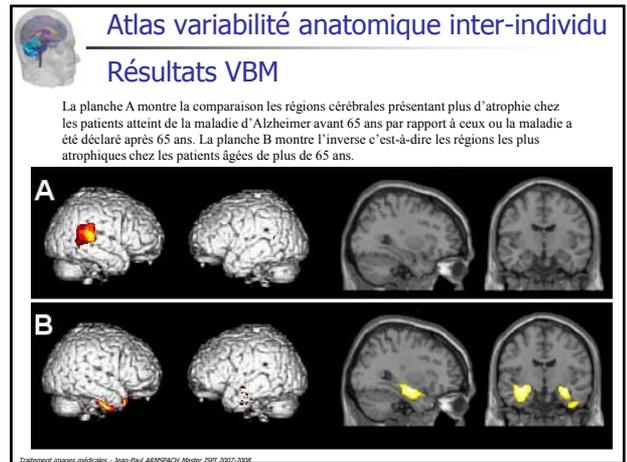
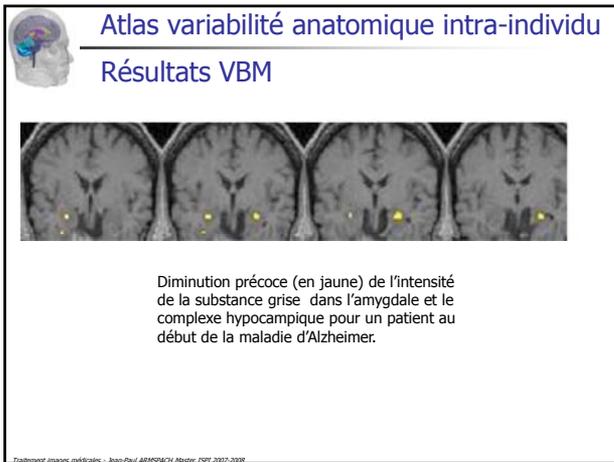
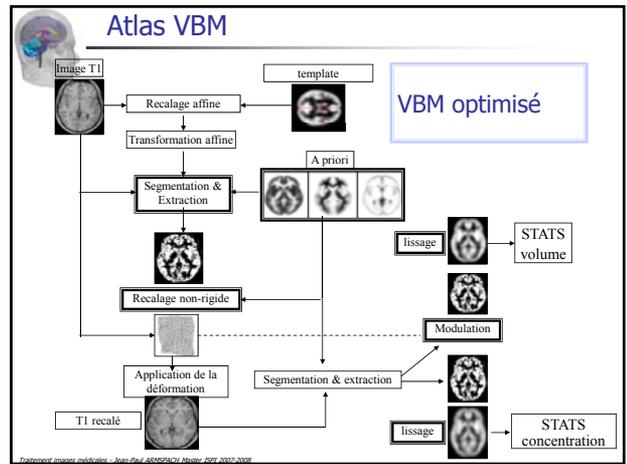
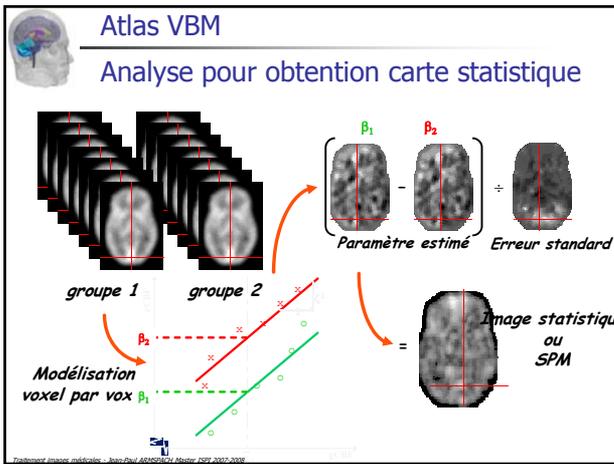
Atlas VBM

Utilisation : Tests statistiques (T-Student).

- La probabilité, sous l'hypothèse nulle, d'obtenir un T supérieur ou égal au $T_{\text{observé}}$ définit la *p-value*
- On rejette H_0 si $P\text{-value} \leq \alpha$
 - α : taux acceptable de faux positifs (risque de première espèce)

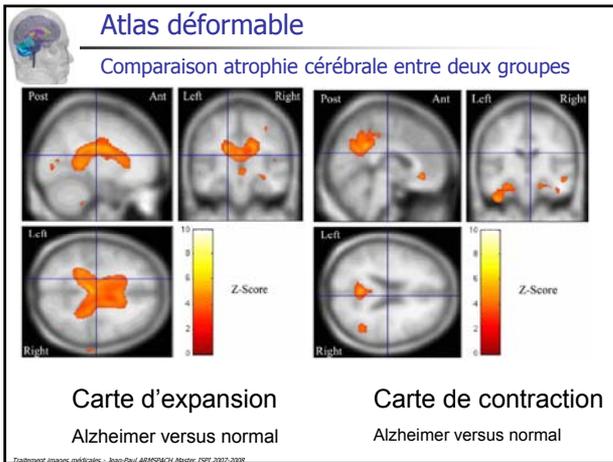
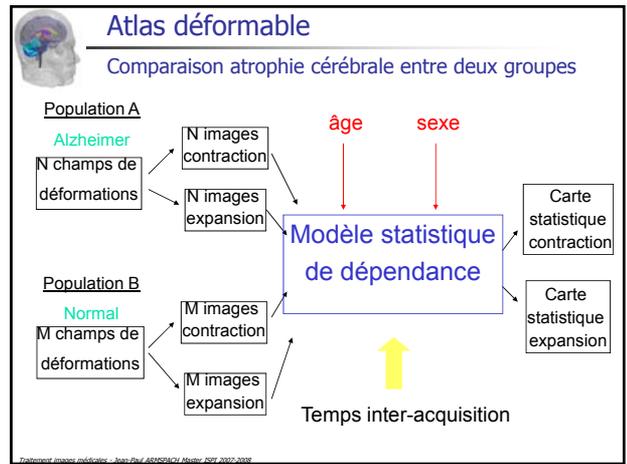
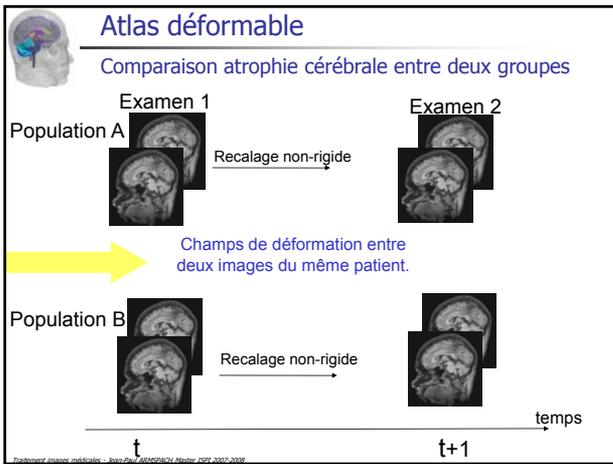


Traitement images médicales - Jean-Paul AMISFAROU Master 2007-2008



- ## Atlas déformable (DBM, TDM)
- ### Que décrit-il ?
- Deformation Based Morphometry (DBM)
 - Différences anatomiques macroscopiques entre des individus.
 - Différences de position relative des structures anatomiques
 - Requière un recalage initial parfait.
 - Sensible à la différence de volume du cerveau
 - Statistiques multi-variés du champs de déformation
 - Tensor Based Morphometry (TBM)
 - Différences régional des structures
 - Le jacobien ou le gradient du champs de déformation apporte de l'information sur les formes locales.
 - Volume, longueur et surface
 - Simple TBM
 - Comparaison des différences des volumes relatifs des structures
 - Suppression des information sur la position
 - 'Strain Tensor' maps voxels in one brain to template
 - Perform statistics on the different tensor elements
- Traitement images médicales - Jean-Paul ADONIS/CI Medeur PDF 2007-2008

- ## Atlas déformable (DBM)
- ### Que décrit-il ?
- Étude du champs de déformation
 - (Deformation Based Morphometry (DBM),
 - Différences anatomiques macroscopiques entre des individus.
 - Différences de position relative des structures anatomiques
 - Requière un recalage initial parfait.
 - Sensible à la différence de volume du cerveau
 - Statistiques multi-variés du champs de déformation
- Traitement images médicales - Jean-Paul ADONIS/CI Medeur PDF 2007-2008



Traitement des images médicales

Les atlas probabilistes de comparaison (fonctionnels)

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

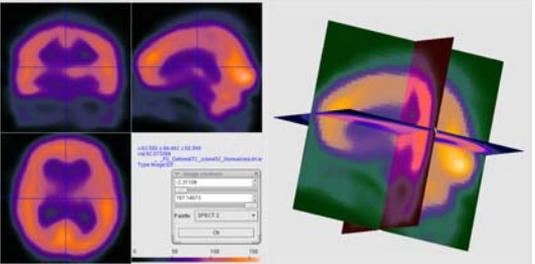
- ### Atlas fonctionnels probabilistes
- #### Liste
- Méthodes univariées
 - Approches voxel dans Statistical Parametric Mapping (SPM)
 - Approches régions
 - Approches surface
 - Méthodes multi-variés
 - Approches voxel (Atlas de perfusion cérébrale)
 - Approches régions
- Traitement images médicales - Jean-Paul LAMPSCHU Membre ICFP 2007-2008

- ### Atlas fonctionnels probabilistes
- #### Définition
- Description probabiliste d'une fonction pour un groupe d'individus (la variabilité inter-individus).
 - Double intérêts des atlas fonctionnelles :
 - Localisation des différences fonctionnelles entre :
 - deux groupes d'individus
 - un individu et un groupe d'individus
 - Classification d'un individu dans un groupe en fonction de la fonction
 - Création d'atlas en fonction des pathologies, de l'âge, ...
 - Introduire des variables explicatives (age, degré de gravité de la maladie, ...)
- Traitement images médicales - Jean-Paul LAMPSCHU Membre ICFP 2007-2008

L'atlas de perfusion cérébrale

Que décrit-il ?

- Cet atlas décrit la perfusion cérébrale c'est-à-dire le débit cérébral (intensité) obtenu par image de médecine nucléaire et sa distribution spatiale.



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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Pré-traitements

Base de témoins

Pré-traitements

- recalage
- segmentation du cerveau
- normalisation d'intensité

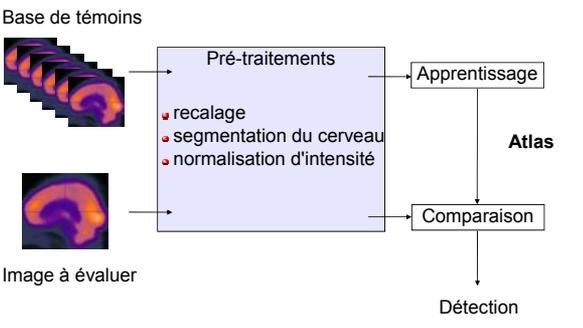
Apprentissage

Atlas

Image à évaluer

Comparaison

Détection



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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : recalage

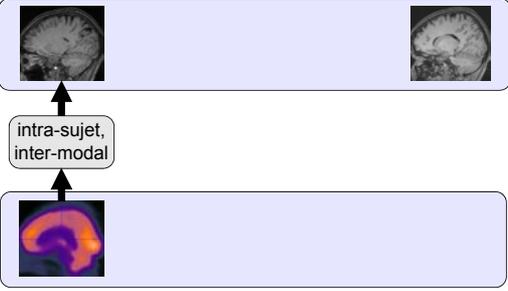
Sujet #j

Référence

IRM

TEMP

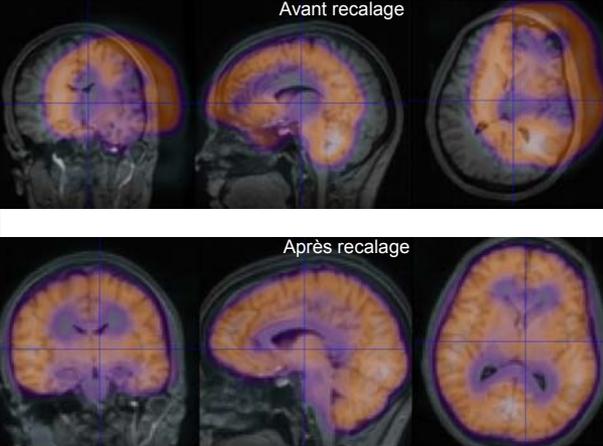
intra-sujet, inter-modal



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

Avant recalage

Après recalage



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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : recalage

Sujet #j

Référence

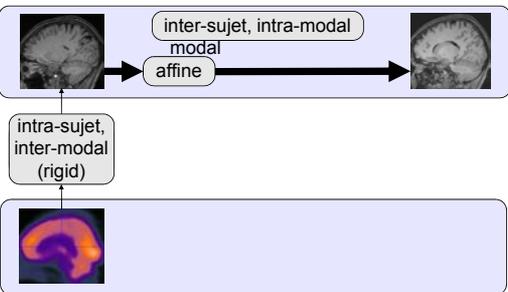
IRM

TEMP

intra-sujet, inter-modal (rigid)

inter-sujet, intra-modal modal

affine



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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : recalage

Sujet #j

Référence

IRM

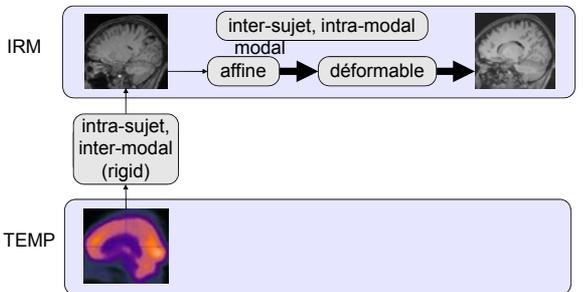
TEMP

intra-sujet, inter-modal (rigid)

inter-sujet, intra-modal modal

affine

déformable



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

L'atlas de perfusion cérébrale

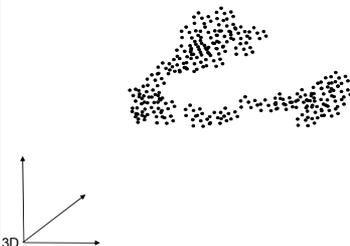
Construction de l'atlas : sous-espace visuel

- Image contenant D pixels \iff vecteur \mathbb{R}^D
- Images d'apprentissage : nuages de points dans \mathbb{R}^D
- Modélisation probabiliste
- Réduction de dimensions (ACP, ACI,...)
- Modèle: partie déterministe (qui dépend d'une variable latente) et bruit d'observation

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

L'atlas de perfusion cérébrale

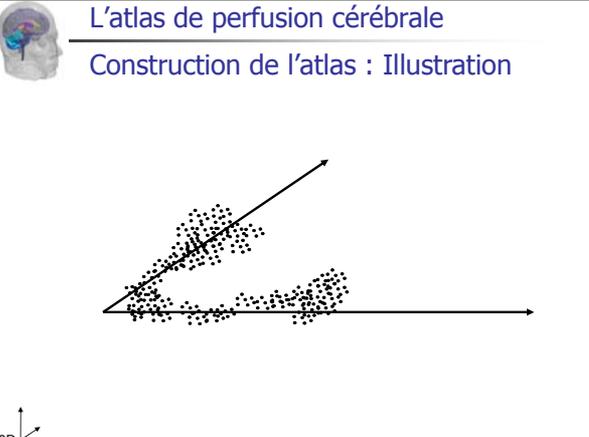
Construction de l'atlas : Illustration



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

L'atlas de perfusion cérébrale

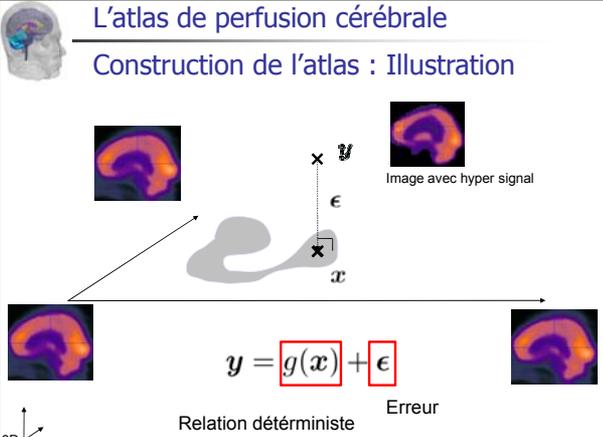
Construction de l'atlas : Illustration



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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Illustration



$y = g(x) + \epsilon$

Relation déterministe Erreur

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Modèle linéaire

Modèle de base

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

- y - image observée
- W - matrice génératrice
- x - variable latente
- μ - image moyenne
- ϵ - bruit d'observation

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Modèle linéaire

Apprentissage

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

- y - image observée
- W - matrice génératrice
- x - variable latente
- μ - image moyenne
- ϵ - bruit d'observation

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

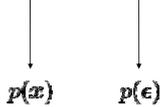


L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Modèle linéaire

Variables aléatoires

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$



y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation



L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Modèle linéaire

Observation

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation



L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : apprentissage

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation



L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : apprentissage

$$y = \cancel{W}x + \mu + \epsilon$$

$W = 0 \quad \sim \mathcal{N}(0, \Psi)$

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation

1. modèle local : $\hat{\mu}, \hat{\sigma}_d^2$



L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : apprentissage

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

\uparrow \uparrow
 ACP $\sim \mathcal{N}(0, \Psi)$

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation

1. modèle local
 2. modèle global : $\hat{\mu}, \hat{W}, \hat{\Psi}$

Résidu : $e = y - (W\hat{x}_{ML} + \mu)$



L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : apprentissage

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

\uparrow

$\hat{p}(x) : \{\hat{x}_{ML}\}_{j=1}^J$

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation

1. modèle local
 2. modèle global : $\hat{\mu}, \hat{W}, \hat{\Psi}$

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : apprentissage

Modèle global

Atlas:

Moyenne μ w_1 w_2 ... σ

x vecteurs propres, $x \in \{1, \dots, Q\}$

- Vecteur propre: forme de perfusion qui représente une forte variation
- Identifiés par l'analyse en composantes principales (ACP)

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Comparaison

Base de témoins

Pré-traitements

- recalage
- segmentation du cerveau
- normalisation d'intensité

Apprentissage → Atlas

Image à évaluer → Comparaison → Détection

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Modèle linéaire

Problème de reconstruction

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

??

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Modèle linéaire

Problème de reconstruction

y - image observée
 W - matrice génératrice
 x - variable latente
 μ - image moyenne
 ϵ - bruit d'observation

$$y = Wx + \mu + \epsilon$$

??

Estimation MAP: $\hat{x} = \arg \max_x p(x|y)$

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Hypothèses et solutions

$\hat{x} = \arg \max_x p(x|y)$

Bruit : $p(\epsilon)$

	Gaussien	Non gaussien (robuste)
$p(x)$	Uniforme	ML
	Gaussien	
	Non gaussien/Non-paramétrique	

x y

x_{GT}

\hat{x}_{ML}

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Hypothèses et solutions

$\hat{x} = \arg \max_x p(x|y)$

Bruit : $p(\epsilon)$

	Gaussien	Non gaussien (robuste)
$p(x)$	Uniforme	RML
	Gaussien	
	Non gaussien/Non-paramétrique	

x y

x_{GT}

\hat{x}_{RML}

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

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Comparaison

Atlas

- Modèle local
- Voxel-par-voxel
- Comparaison (z-score) :

$$z = \frac{y - \mu}{\sigma}$$

Image à comparer

Traitement images médicales - Jean-Paul AMEZDRAZ/M. Meunier, ICF 2007-2008

L'atlas de perfusion cérébrale

Construction de l'atlas : Comparaison

Atlas

Moyenne μ w_1 w_2 σ

Écart-type des résidus

$$z = \frac{y - \mu - x_1 w_1 - \dots - x_n w_n}{\sigma}$$

- Modèle global
- Voxel-par-voxel
- Comparaison (z-score)

Residu

y x_1 \dots x_n

Moyenne μ Résidu

Traitement images médicales - Jean-Paul AMEZDRAZ/M. Meunier, ICF 2007-2008

Modèle global robuste

- Une extension du modèle global pour que le modèle reste fiable même dans les cas des grandes zones anormales

Standard: $F = \sum_i r_i^2$

Robuste: $F = \sum_i \rho(r_i)$

Résidu

Traitement images médicales - Jean-Paul AMEZDRAZ/M. Meunier, ICF 2007-2008

L'atlas de perfusion cérébrale

Création et utilisation de l'atlas

Base de données témoins

35 images

Recalage non-rigide

Apprentissage/estimation (ACP)

Atlas probabiliste

Moy

w_1

w_2

RESIDUS

Décompose

Image à tester

RESIDUS

Comparaison Test d'hypothèse

Résultat

Traitement images médicales - Jean-Paul AMEZDRAZ/M. Meunier, ICF 2007-2008

L'atlas de perfusion cérébrale

Utilisation de l'atlas

Applications cliniques : Localisation pré-chirurgicale des zones épileptogènes

TEMP inter-critique

Recalage

Replément de l'information critique de l'atlas p...

TEMP critique

Image normale ?

superposition

Traitement images médicales - Jean-Paul AMEZDRAZ/M. Meunier, ICF 2007-2008

L'atlas de perfusion cérébrale

Utilisation de l'atlas

critique - inter-critique (Référence)

Critique - Atlas global ACP

Traitement images médicales - Jean-Paul AMEZDRAZ/M. Meunier, ICF 2007-2008