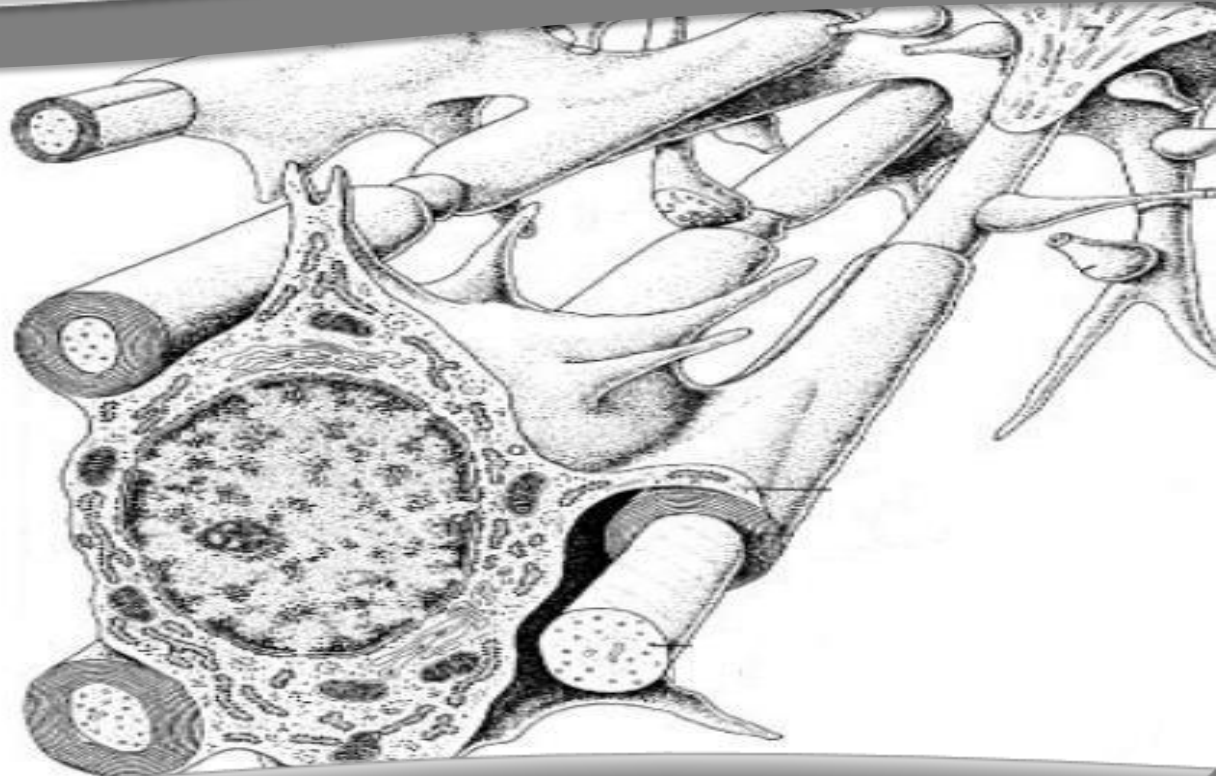


Détection de changements en IRM de diffusion. Application au suivi longitudinal de pathologies neuro- dégénératives



Antoine Grigis

Sommaire



Introduction : contexte et objectifs

Principe et intérêts de l'IRM de diffusion

Détection de changements sur des faisceaux de fibres

Conclusion



Contexte : les maladies neuro-dégénératives

▪ Caractéristiques :

1- Affectent le fonctionnement du cerveau ou plus généralement le système nerveux.

2- Evoluent progressivement au cours du temps.

LONGITUDINAL

3- Entraînent une détérioration du fonctionnement des cellules nerveuses (en particulier les neurones).

IRMd

▪ Pour le patient :

1- Altération progressive (souvent irréversible) des fonctions nerveuses : motricité, mémoire, cognition, ...

Introduction : contexte et objectifs



examen 1: t_1



examen 2: t_2



ACQUISITION



Objectif : Réaliser le suivi longitudinal de patients atteints de SEP ou NMO grâce à l'IRMd (modification des propriétés de diffusion des fibres).

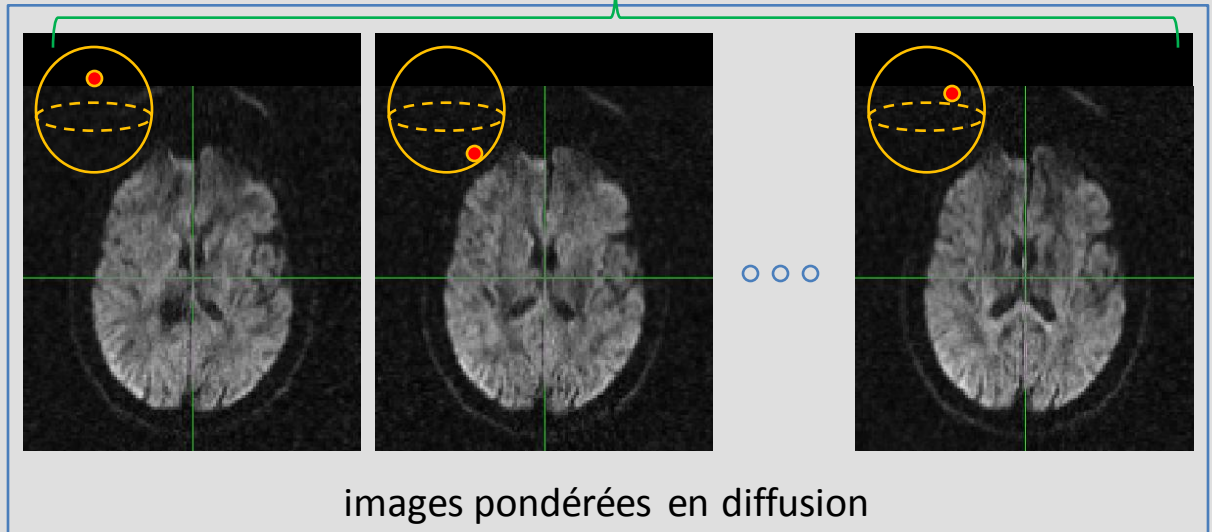
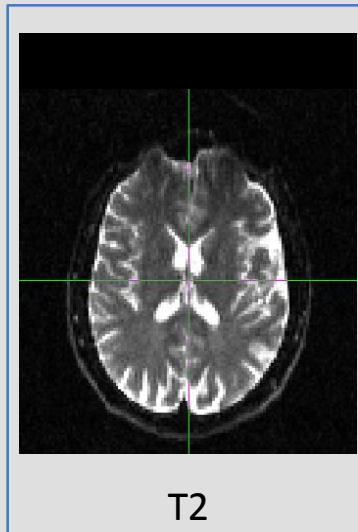
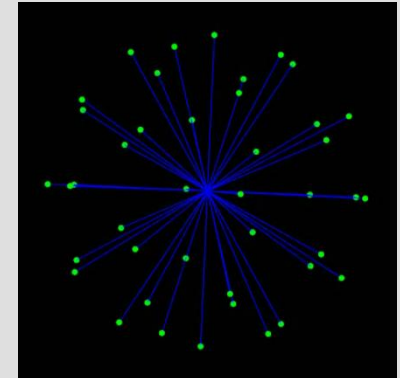


Images pondérées en diffusion

▪ Protocole d'acquisition :

- 1- Une image de référence non pondérée en diffusion.
- 2- Une série d'images pondérées en diffusion sur un échantillonnage uniforme des directions de l'espace.

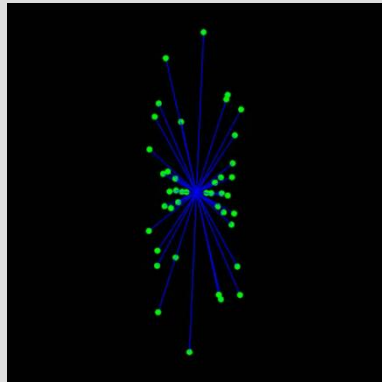
Permet de caractériser le mouvement des molécules d'eau suivant chaque direction.



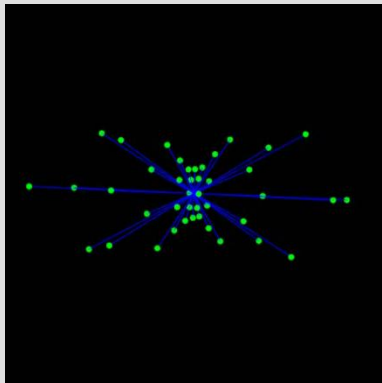


Niveaux de représentation

▪ Signal de diffusion :

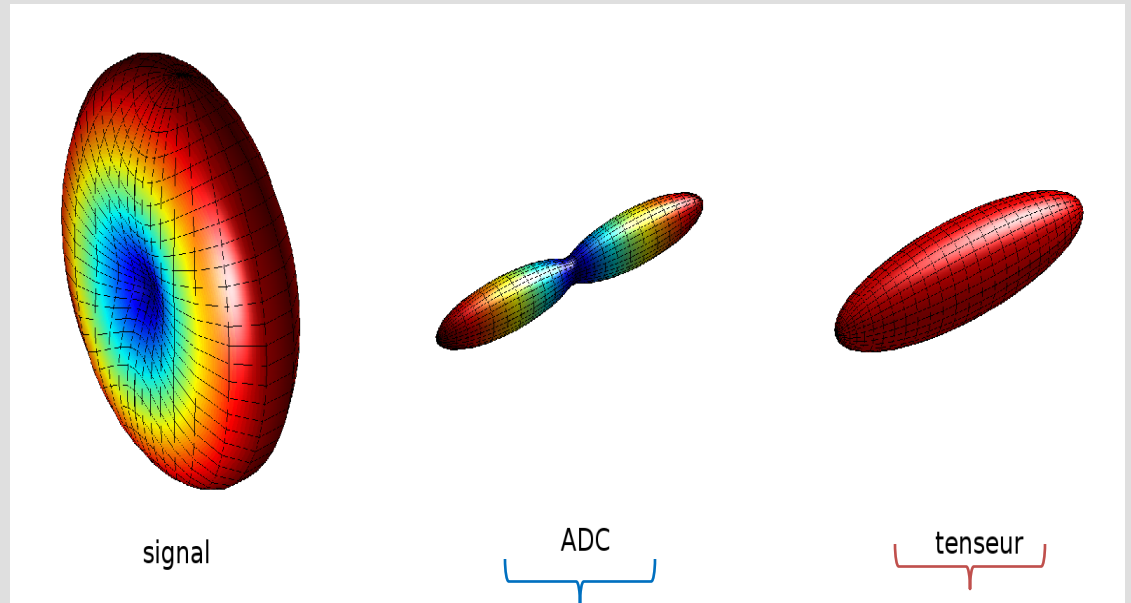


S_i



$$ADC_i = -\frac{1}{b} \ln \left(\frac{S_i}{S_0} \right)$$

▪ Tenseur de diffusion :



signal

ADC

tenseur

coefficients de diffusion apparents

contour d'isoprobabilité du propagateur



Niveaux de représentation

- Fibres de la substance blanche.

direction principale de diffusion : mise en évidence des voies neuronales (avec la couleur bleue pour l'axe longitudinal, le vert pour l'axe antéro-postérieur et le rouge pour l'axe gauche-droite).

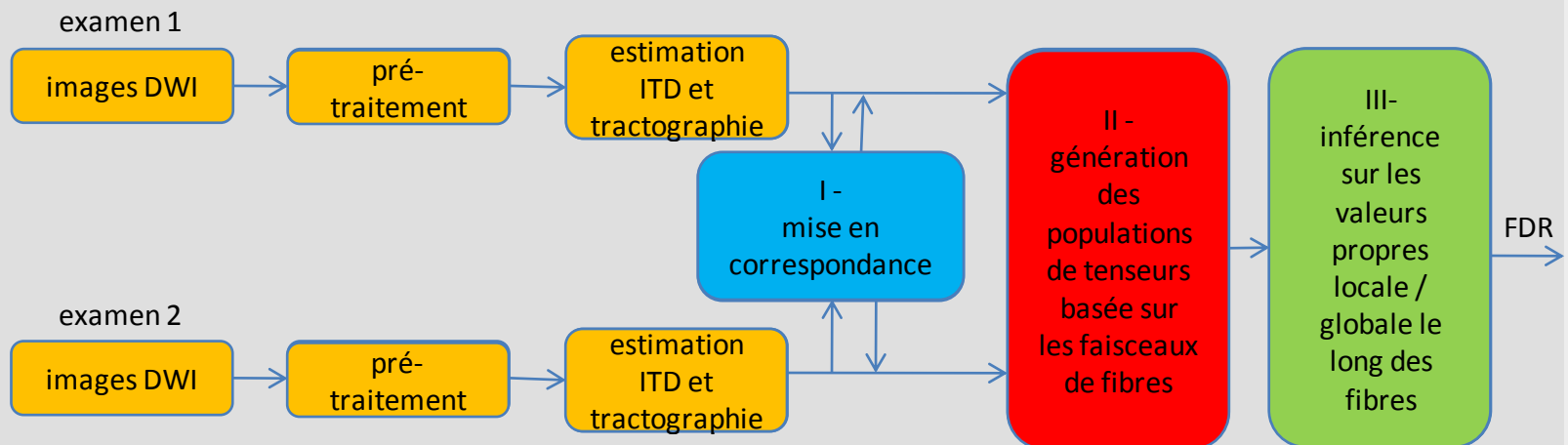
Fibres



www.ExploreDTI.com



Chaîne de traitement

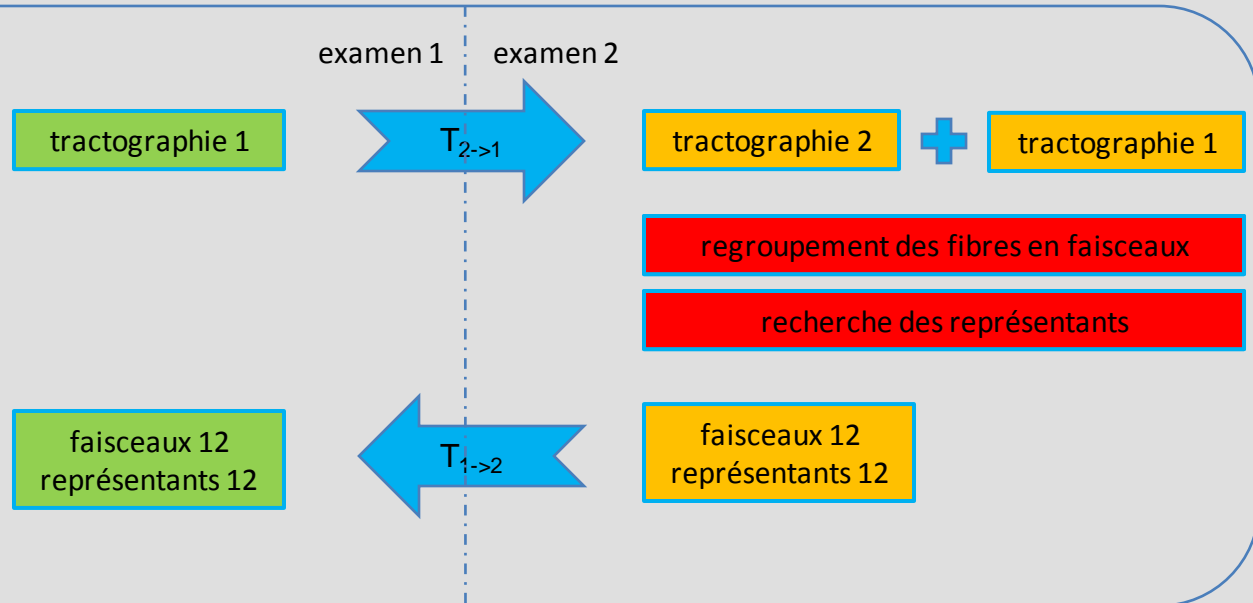


- **En entrée** : deux séquences d'un même patient à comparer.
- **Prétraitement** : correction des courants de Foucault -> distorsions géométriques dans chaque image pondérée en diffusion.
- **Estimation ITD et tractographie** : estimation des Log-tenseurs et tractographie déterministe basée sur un tenseur d'ordre 2.



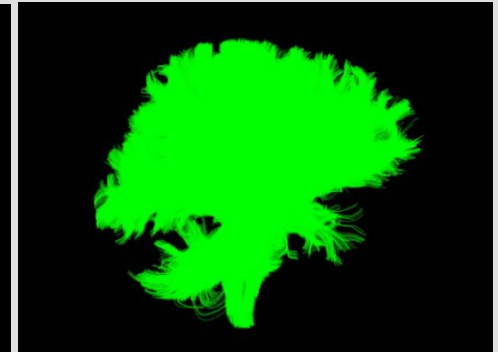
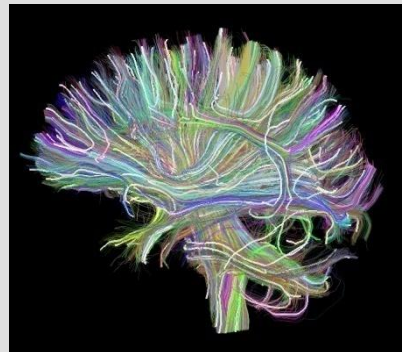
Mise en correspondance

Evite d'interpoler et de réorienter les tenseurs de diffusion.



- Recalage non rigide des cartes de FA de l'examen 2 sur l'examen 1 [Noblet 2006] : $T_{2 \rightarrow 1}$.

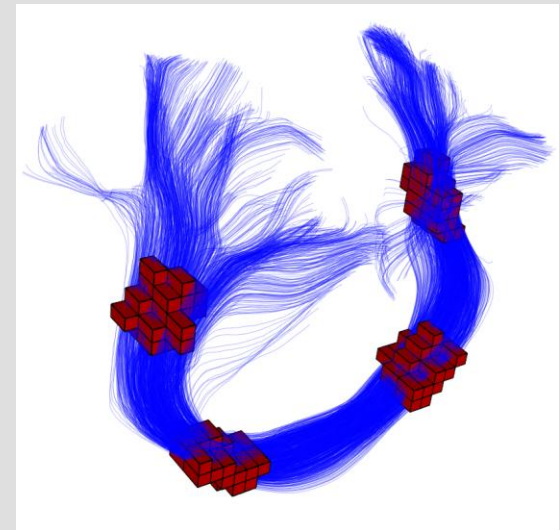
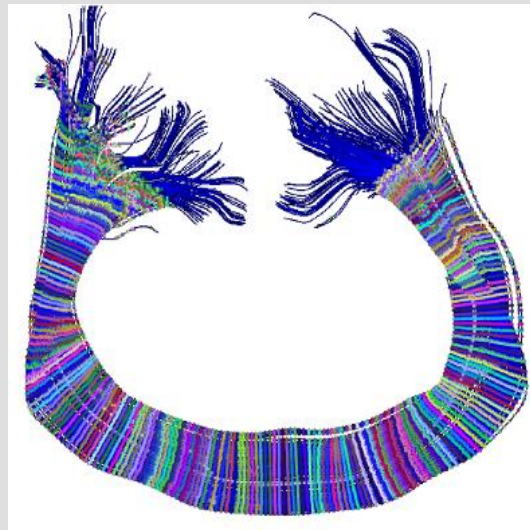
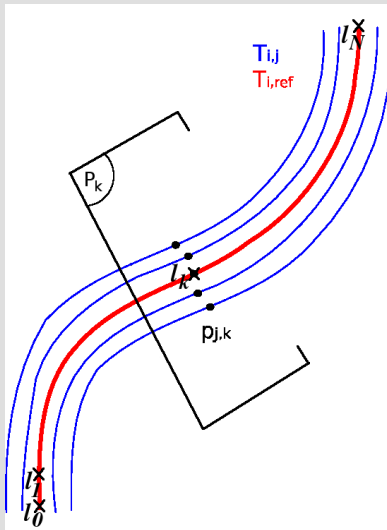
- Inversion du champ de déformation [Noblet 2008] : $T_{1 \rightarrow 2}$.





Extraction d'une population sur les fibres

▪ Test local fibres :



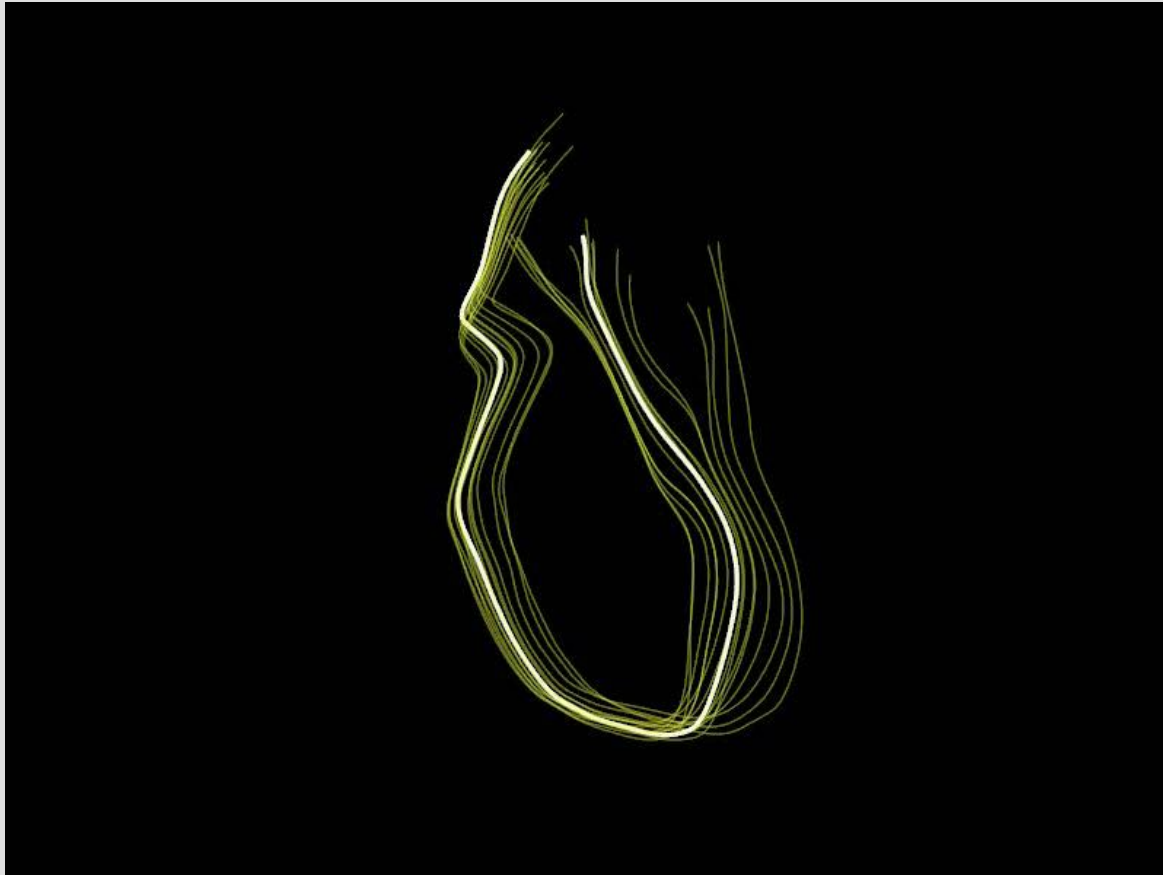
1- Intersection des fibres d'un faisceau i avec les plans perpendiculaires au représentant $T_{i,ref} \rightarrow p_{j,k}$.

2- Construction d'un voisinage en considérant des plans consécutifs en conservant les tenseurs au niveau voxel (hypothèse d'indépendance) assez dense (problème du volume partiel).



Extraction d'une population sur les fibres

- **Test local fibres :**

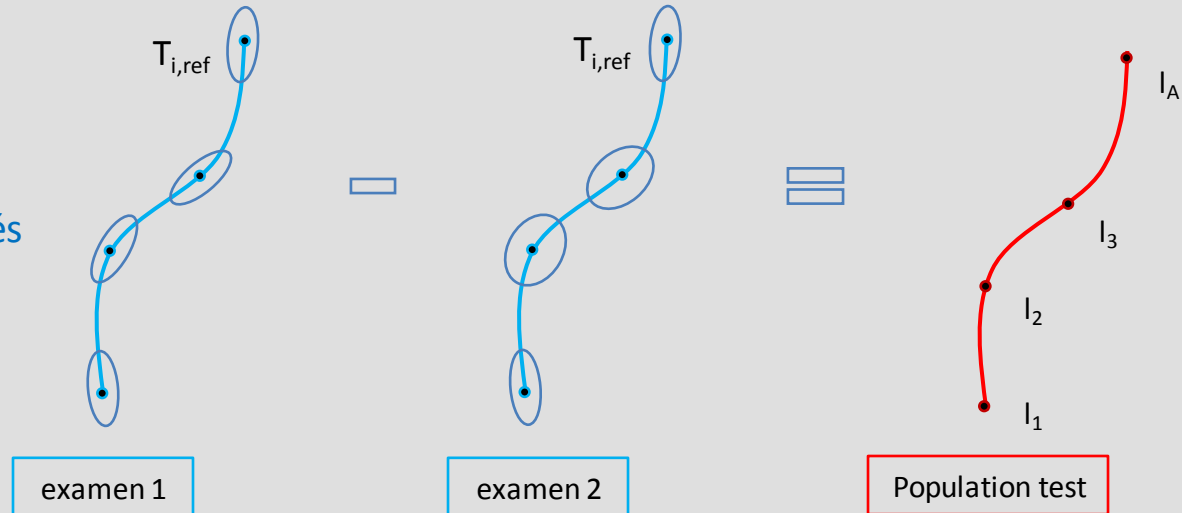




Extraction d'une population sur les fibres

▪ Test global fibres :

Log-tenseurs calculés
sur des sections
transversales



1- Différence entre les Log-tenseurs appariés (dans leur représentation canonique).

2- $l_i, i \in \{1, \dots, A\} \Rightarrow \bar{\mathbf{L}}, \hat{\sigma}^2 \} \in \text{diag}(3) \mathbb{R}^+.$



Inférence sur les valeurs propres

- **Test local fibres** : Comparaison de deux populations le long des fibres.

$$H_0 : (\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2) \in \mathcal{M}_{2,\Lambda} \text{ vs. } H_1 : (\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2) \notin \mathcal{M}_{2,\Lambda}$$

$$\mathcal{M}_{2,\Lambda} = \{ (\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2) : \mathbf{M}_1 = \mathbf{U}_1 \mathbf{\Lambda} \mathbf{U}_1^T, \mathbf{M}_2 = \mathbf{U}_2 \mathbf{\Lambda} \mathbf{U}_2^T \}$$

$$T_{e-val} = T_{fibre} = \frac{(n-2)n_1n_2}{3n^2\hat{\sigma}^2} \text{tr} [(\bar{\mathbf{\Lambda}}_1 - \bar{\mathbf{\Lambda}}_2)^2] \sim F(3, 6(n-2))$$

- **Test global fibres** : Comparaison d'une population de tenseurs appariés de taille A pour chaque fibre.

U : connue, on se place dans la base canonique : $\mathbf{U} = \mathbf{I}_3$.

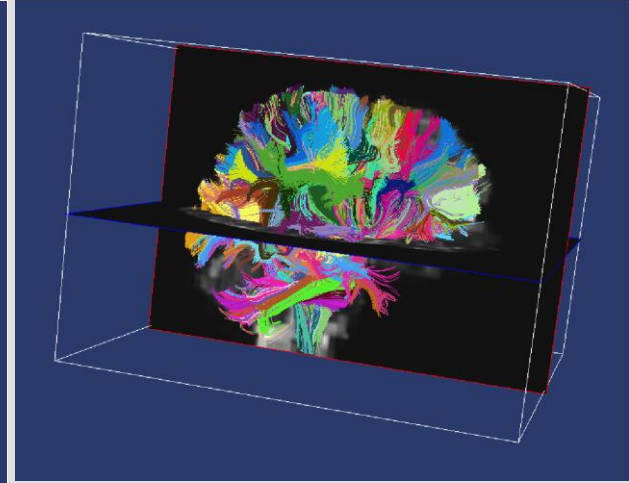
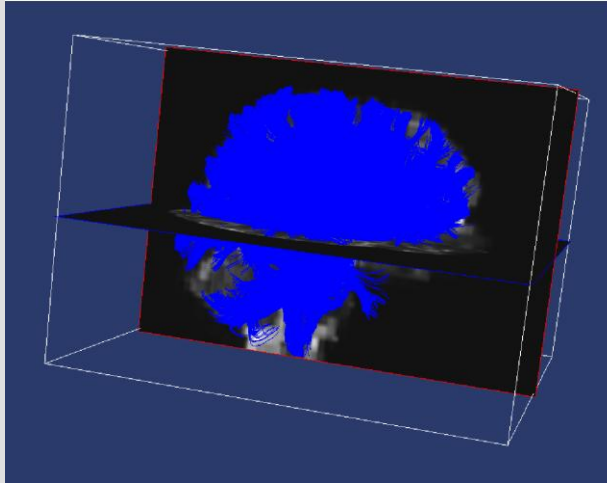
$$H_0 : \mathbf{M} = \mathbf{U} \mathbf{\Lambda}_0 \mathbf{U}^T \text{ vs } H_1 : \mathbf{M} \neq \mathbf{U} \mathbf{\Lambda}_0 \mathbf{U}^T$$

$$T_{global} = \frac{A-1}{3\hat{\sigma}^2} \text{tr} [(\bar{\mathbf{\Lambda}} - \mathbf{\Lambda}_0)^2] \sim F(3, 6(A-1))$$

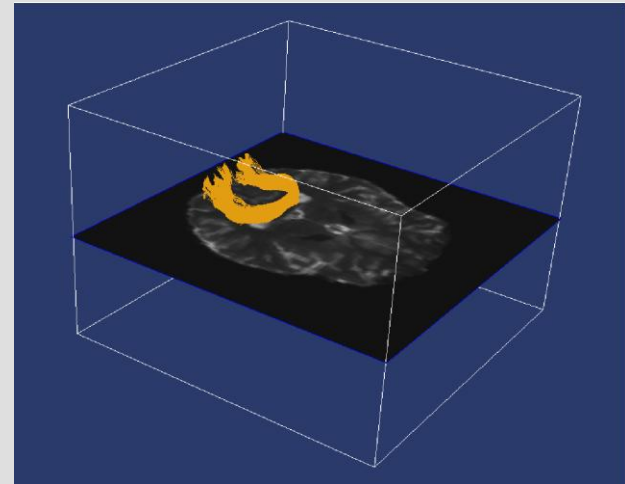


Résultats

▪ Simulations :



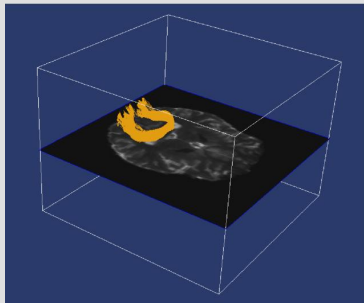
- Acquisition d'un même sujet sain à deux jours d'intervalle.
- Modification globale le long d'un faisceau.
- Augmentation de la diffusion dans la direction principale : multiplication de la valeur propre principale par un facteur α .
- Comparaison des approches locale fibres, globale fibres et spatiale (S) en utilisant l'aire sous les courbes COR (Caractéristique Opérationnelle de Réception).





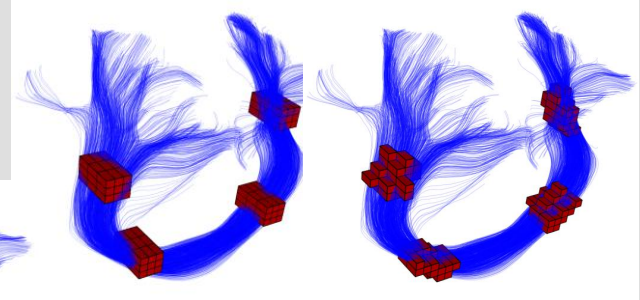
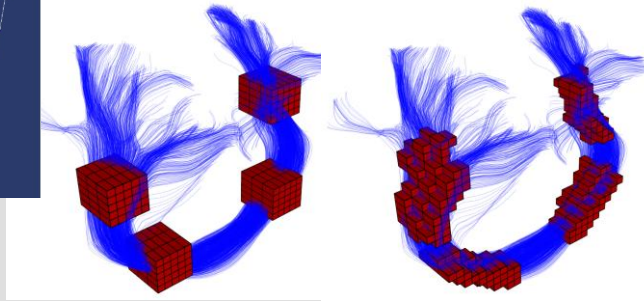
Résultats

Simulations :



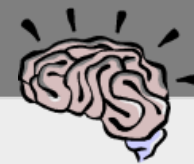
A=200

N=75



N=27

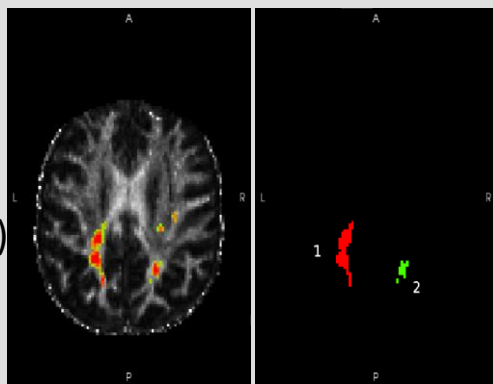
α	0.06	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
(a) N=27							
S	0.604 ± 0.012	0.668 ± 0.013	0.732 ± 0.012	0.932 ± 0.007	0.992 ± 0.002	0.997 ± 0.001	0.998 ± 0.001
T_{fibre}	0.684 ± 0.013	0.798 ± 0.011	0.875 ± 0.008	0.989 ± 0.003	0.997 ± 0.002	0.998 ± 0.001	0.999 ± 0.001
(b) N=75							
S	0.553 ± 0.014	0.618 ± 0.014	0.686 ± 0.014	0.909 ± 0.009	0.983 ± 0.002	0.994 ± 0.002	0.996 ± 0.001
T_{fibre}	0.820 ± 0.012	0.901 ± 0.009	0.935 ± 0.009	0.976 ± 0.006	0.992 ± 0.003	0.996 ± 0.002	0.997 ± 0.001
(c) A=200							
T_{global}	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0



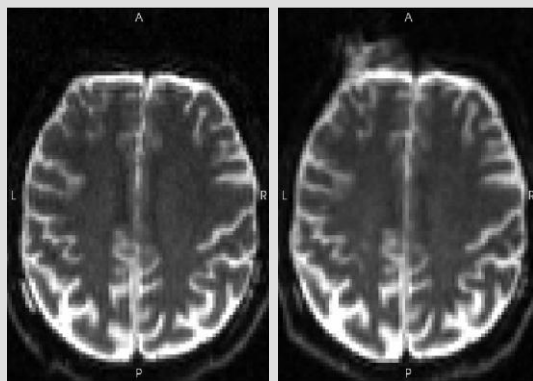
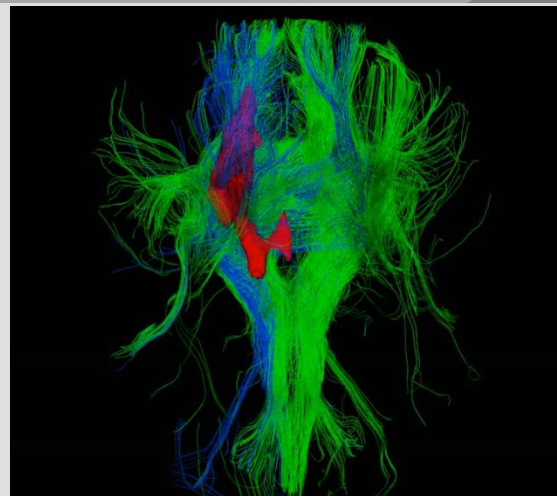
Résultats

Un patient atteint de NMO :

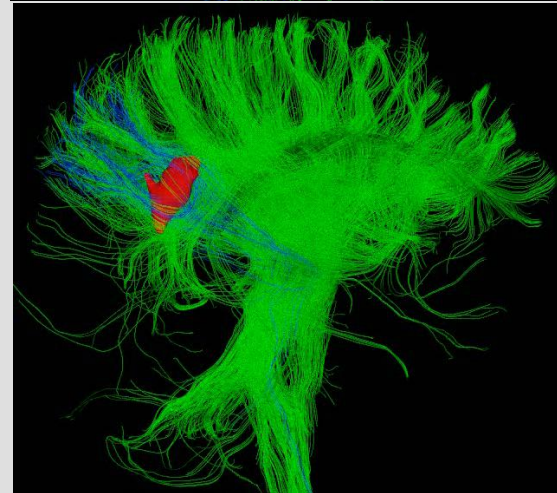
détections
($p_{FDR} < 0.001$)



détections
significatives



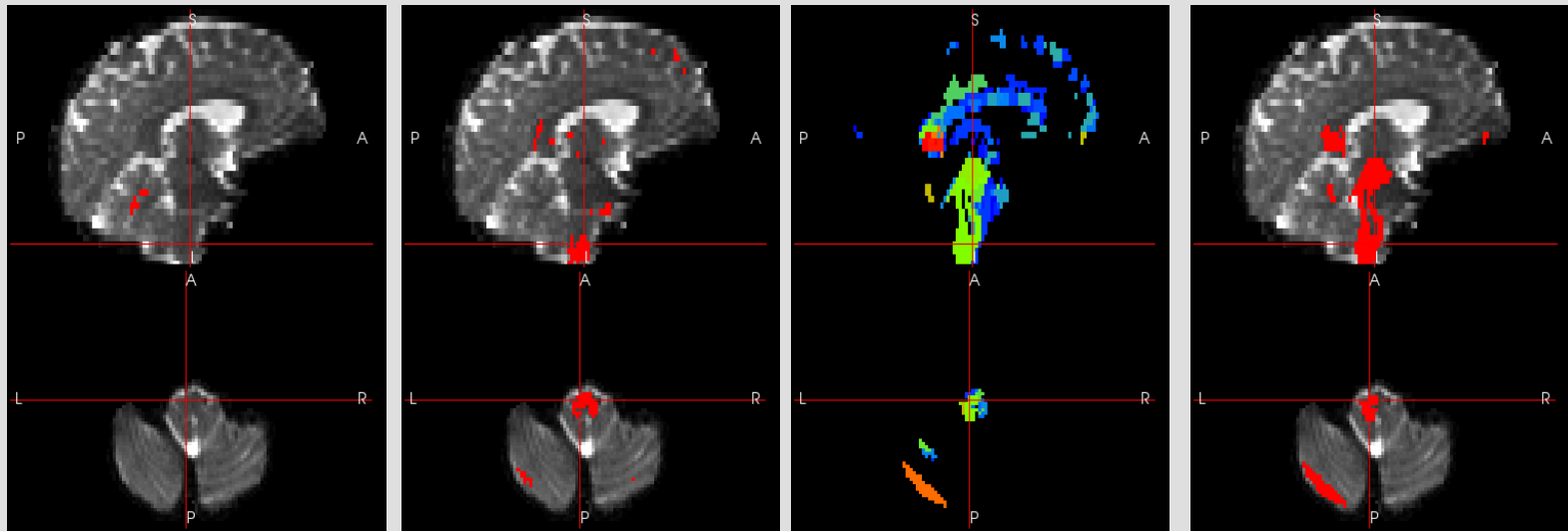
aucune
évolution
visible en
imagerie
anatomique





Résultats

Un patient NMO :



S
détetections ($p_{\text{FDR}} < 0.001$)

test local
détetections ($p_{\text{FDR}} < 0.001$)

test global

test global
détetections ($p_{\text{FDR}} < 0.05$)

Détection de changements sur des faisceaux de fibres



Résultats

- **Base de données NMO** : test local (N=27, rouge=augmentation de FA, bleu=diminution de FA).

patient	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
$\Delta t(\text{mois})$	18	41	17	10	13	19	14	22	21	11
$\Delta BRB - N$	1	2	0	-1	-5	0	-4	-3	-2	-1
$\Delta EDSS$	0,5	2	3,5	0	-1,5	3	0,5	-1	0	1
IRM standard										
extension spatiale des lésions de la moelle épinière au temps t_1 (en nombres de segments vertébraux)	2	5	0	0	0	1	2	3	0	3
extension spatiale des lésions de la moelle épinière au temps t_2 (en nombres de segments vertébraux)	2	8	3	0	0	2	2	4	0	3
Changements détectés en ITD										
<u>1</u> : tronc cérébral	O	O	O	-	O	O	O	O	-	O
<u>2</u> : sillon de Rolando	G/D	G/D	G/D	-	-	G	G	-	-	G/D
<u>3</u> : faisceaux pyramidaux	G/D	G/D	G/D	-	-	G	-	G	-	G/D
4: cervelet	-	O	-	O	-	O	O	O	-	O
<u>1</u> : corps calleux	A/M	M	-	-	-	-	A	M	A/M	A
<u>2</u> : faisceau longitudinal supérieur	D	G	G/D	-	D	G	G	-	-	G/D
<u>3</u> : régions préfrontales	O	-	-	-	-	O	O	-	O	-

2:
-0.757(0.05)

3:
-0.842(0.01)

2:
-0.674(0.05)



Synthèse

- Gestion fine des voisinages sur lesquels les tests sont menés :
 - voisinages adaptatifs sur des faisceaux de fibres.
 - test global le long d'un faisceau.

- En NMO, mise en évidence de modifications de la substance blanche d'apparence normale en IRM conventionnelle.

Fin

