

Le cerveau

Techniques d'imagerie cérébrale pour voir et comprendre le cerveau:

IRM anatomique - MEG - IRM de Diffusion



Par Anne-Charlotte Philippe
Doctorante dans l'équipe Athena
INRIA

I- Introduction

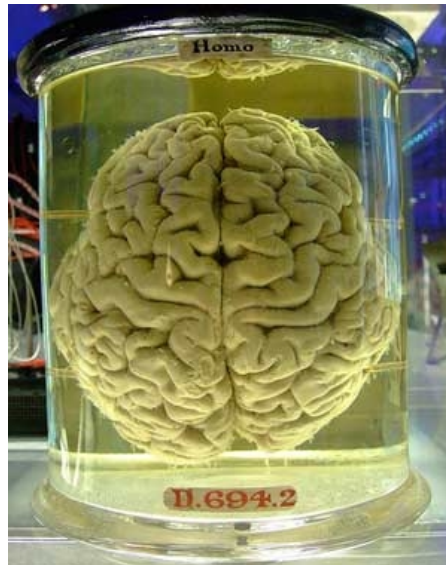


Figure 1: Cortex cérébral humain conservé dans du formol

Le cerveau humain est situé dans la tête, protégé par le crâne. Il est un peu la tour de contrôle de tous les autres organes du corps et des émotions. C'est lui qui envoie des messages aux muscles ce qui nous permet de bouger, il est le centre de la mémoire, de l'apprentissage, du langage, il nous permet de résoudre des problèmes compliqués, il régule aussi l'humeur et les sentiments tels que la peur ou la joie.

Le cerveau est une machine très complexe dont on ne connaît encore que très peu de choses. Les chercheurs qui étudient son fonctionnement s'appellent des neuroscientifiques. Ils travaillent en étroite collaboration avec des médecins, qui sont spécialisés dans la reconnaissance des signes cliniques des maladies, et avec d'autres chercheurs comme les informaticiens qui développent des outils informatiques permettant de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau.

Pour étudier le cerveau, les chercheurs ont besoin de voir sa structure et son fonctionnement.

Ils se servent alors de plusieurs techniques d'imagerie cérébrale pour étudier le cerveau d'un patient sans lui ouvrir la tête, ni lui faire de mal. Ce sont des modalités dites non invasives. Cet article présente 3 de ces modalités: l'IRM anatomique, la MEG et l'IRM de Diffusion.

II- L'IRM anatomique: une photographie de la structure du cerveau



Figure 2: Machine IRM

Il existe différentes techniques d'imagerie cérébrale (cérébrale est un mot de la même famille que cerveau) permettant d'acquérir une image volumique du cerveau.

Parmi ces techniques, l'IRM anatomique (Imagerie par Raisonance Magnétique) permet d'obtenir une image de l'organe très précise organisée en différentes coupes pour obtenir le volume entier des différentes structures du cerveau (Figure 3).

Comment acquérir une telle image?

On installe le patient dans une grosse machine, (Figure 1), pendant plusieurs minutes. Attention pour que l'image soit net, le sujet ne doit absolument pas bouger! Il est alors entouré par un champs magnétique qui va aimer tous les atomes d'hydrogène de sa tête. Suivant le tissu, les atomes d'hydrogène vont mettre un temps différent pour retrouver leur position initial. C'est ce temps, appelé temps de relaxation, que l'on va mesurer. Dans un tissu mou comme l'intérieur du cerveau ou un tissu dur comme l'os du crâne, les temps de relaxation sont différents. Par des méthodes mathématiques appelées méthodes de reconstruction, on va alors être capable de retrouver ces différents tissus.

Passer un IRM est sans danger pour le patient qui ne ressent aucune douleur, c'est une technique d'imagerie non invasive. Cette caractéristique est très importante pour les chercheurs car on ne peut pas imaginer de nos jours faire consciemment du mal à un sujet seulement pour faire de la recherche.

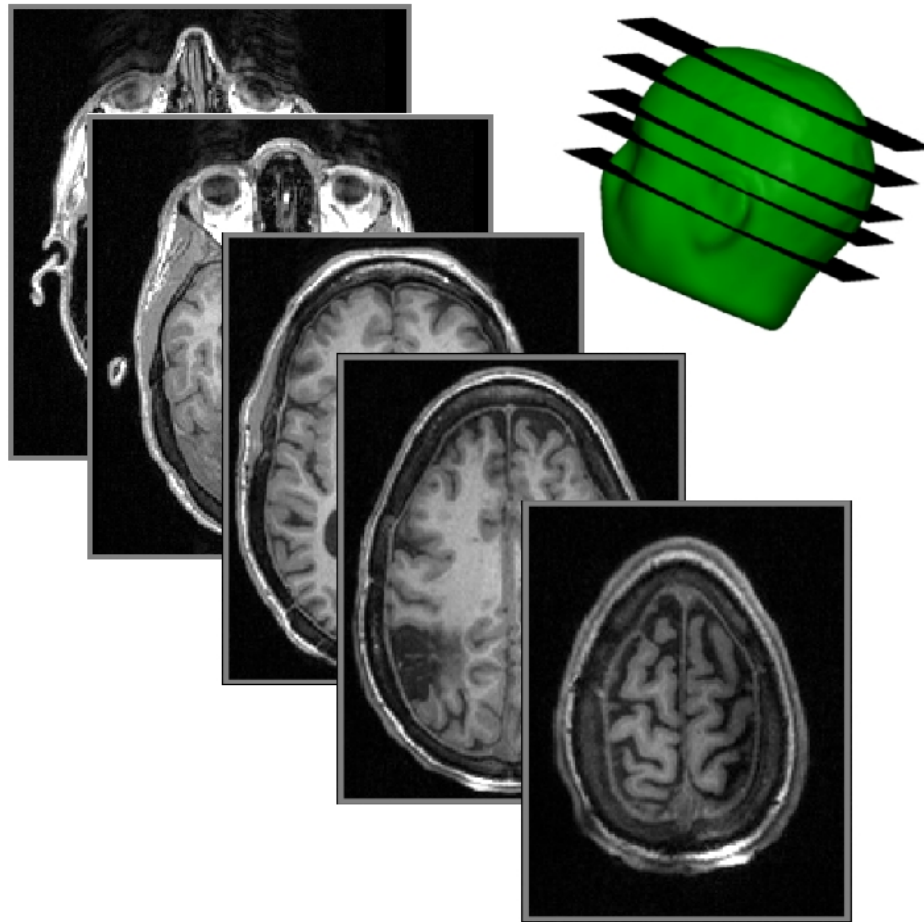


Figure 3: 5 coupes d'IRM anatomique, en vert une représentation de la tête d'un sujet et le positionnement de ces différentes coupes

A quoi sert un IRM anatomique?

Les médecins demandent au patient de passer un IRM pour détecter des anomalies qui touchent à la structure, l'anatomie, de l'organe. Ainsi, avec de telles images, on peut détecter la présence de malformations, d'abcès, de tumeurs, visualiser une hémorragie ou un hématome.

L'image peut donc être utilisée telle quelle par un médecin, qui regarde coupe par coupe la structure du cerveau de son patient.

Mais une image d'IRM anatomique peut aussi être traitée par des informaticiens. Par exemple, à partir de ces images, on peut calculer le volume de certaines structures pour vérifier notamment qu'il n'y a pas d'atrophies dues à une maladie.

L'IRM peut aussi servir à segmenter les différentes surfaces du cerveau. En effet, comme l'image permet de bien voir toutes les couches: l'os, la matière grise, la matière blanche... grâce à des traitements informatiques on arrive à créer des surfaces tridimensionnelles représentant toutes les structures du cerveau. Avec des logiciels de visualisation 3D il est alors possible de faire tourner la tête du patient et de le voir sous tous les angles!

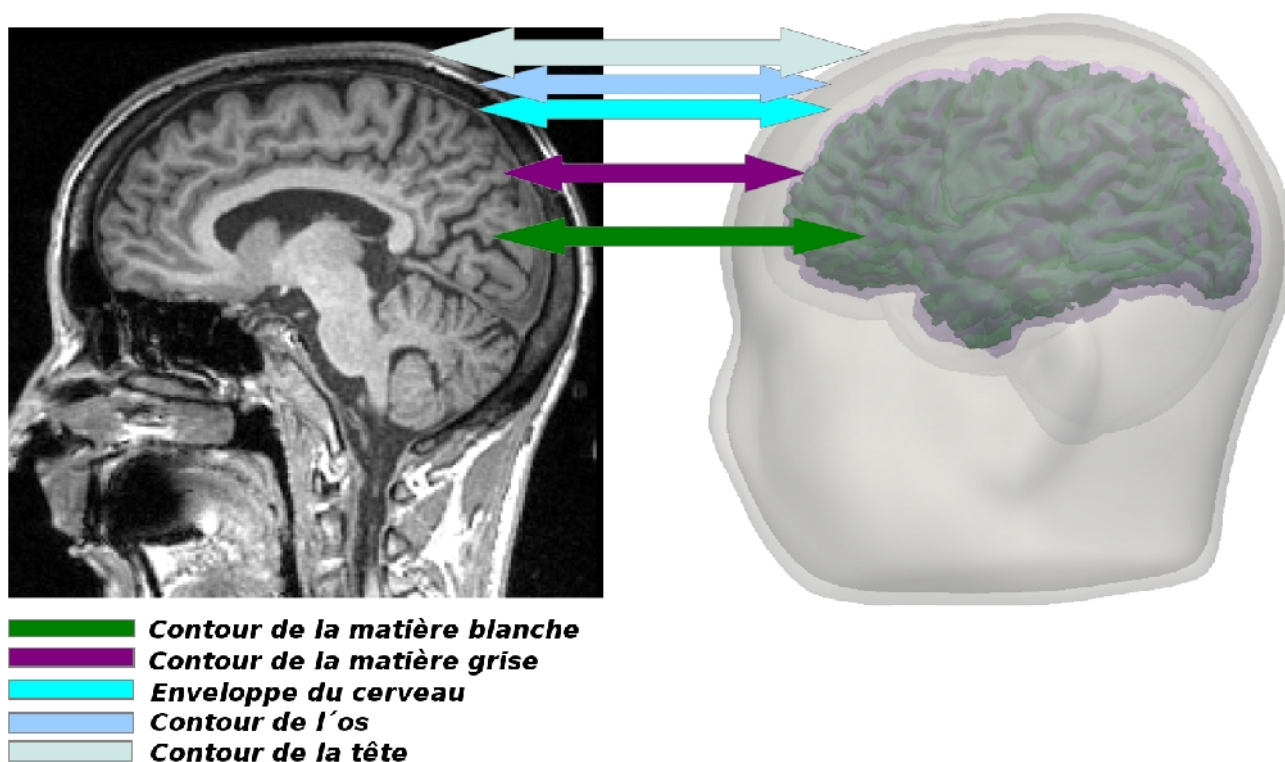


Figure 4: Segmentation d'un IRM anatomique

III- Les fonctions du cerveau

Jusqu'à présent nous avons parlé de la structure du cerveau, c'est à dire des différents tissus qui composent l'organe. Mais comment fonctionne-t-il? Qu'est ce qui fait que nous pouvons entendre, jouer du piano, parler, marcher, apprendre?

Pour bien comprendre comment le cerveau fonctionne, on peut imaginer la matière grise, le cortex, comme rempli de petits bonhommes (Figure 5). Ces petits bonhommes s'appellent des neurones. Il y en a 100 milliards! Lorsque nous demandons à notre cerveau d'effectuer une tâche comme bouger la main, alors les neurones situés dans la partie attribuée aux mouvements moteurs de la main se mettent à parler, en envoyant de l'électricité, et envoient l'ordre aux muscles de la main de bouger.

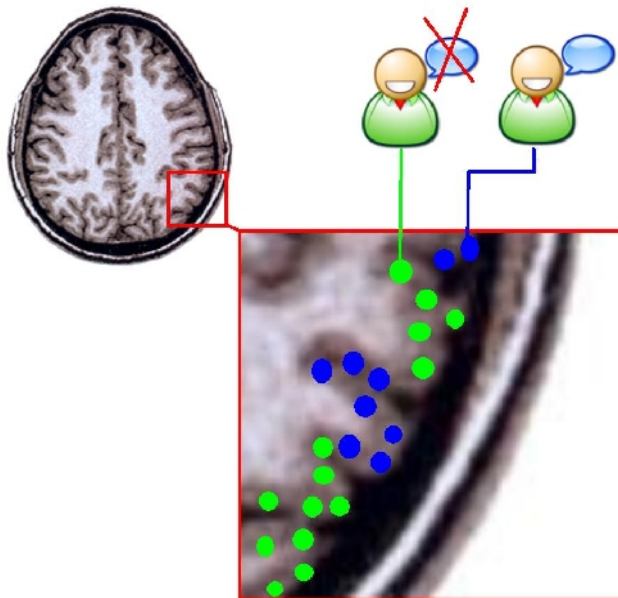
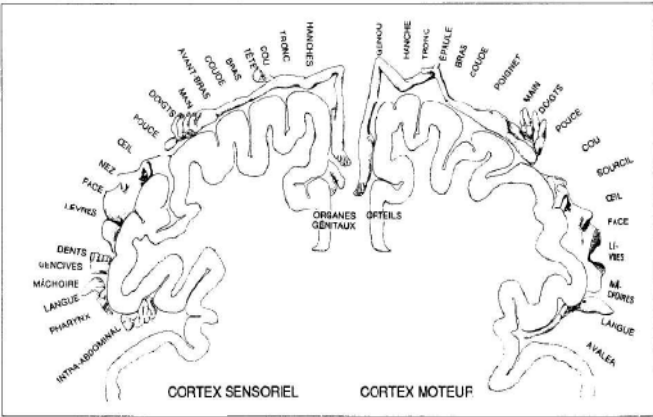


Figure 5: Les neurones, ces bonhommes qui envoient des messages au cerveau et au corps pour assurer toutes les fonctions

Afin de pouvoir effectuer toutes ces fonctions de façon efficace, le cerveau doit être bien rangé. Chaque aire de la matière grise définit alors une fonction précise.

Une illustration de cette organisation est proposée à la figure 6. On appelle la partie du cerveau virtuellement coupée en bleu le cortex moteur. Moteur pour mouvement: c'est à partir de cette aire que sont envoyés les messages aux muscles du corps pour qu'ils nous permettent de bouger. Chaque région de cette aire est spécialisée dans un muscle: une sous-aire



Une des questions qui intéresse tout particulièrement les scientifiques

IV- La MEG pour “voir” le cerveau fonctionner

La magnétoenéphalographie (MEG) est une de ces astuces. C'est une technique d'imagerie cérébrale fonctionnelle, car elle donne des informations sur la façon dont le cerveau fonctionne, contrairement à l'imagerie structurale comme l'IRM anatomique présenté plus haut, qui donne des informations sur la structure du cerveau.

On a vu que lorsqu'une aire du cerveau s'active, les petits bonhommes appelés neurones qui sont logés dans cette région se mettent à parler. Comme on ne peut pas les voir car ils sont trop petits, on va essayer de les entendre... Pour cela, on va placer des micros très sensibles, appelés capteurs, tout autour de la tête du patient. C'est le principe de la MEG. Ces capteurs vont alors enregistrer le son émis par les petits bonhommes qui parlent (Figure 7).

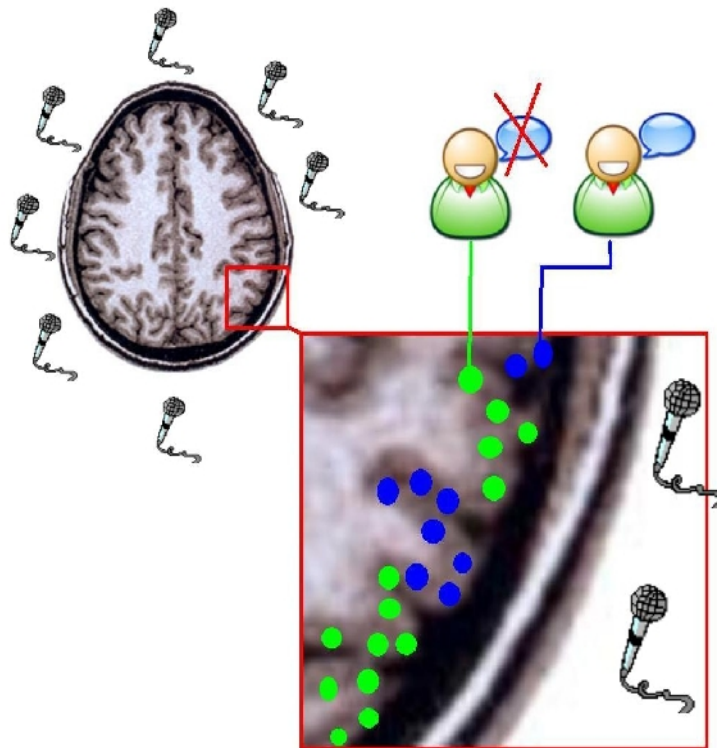


Figure 7: Pour retrouver les régions dont les neurones s'activent, on ne va pas chercher à les voir mais à les entendre en plaçant des sortes de micros autour de la tête du sujet.

En effet, nous n'avons pas besoin de voir quelqu'un parler pour deviner où il se trouve. De la même façon, par des traitements mathématiques et informatiques appelés méthodes inverses, nous n'avons pas besoin de voir les neurones pour savoir d'où ils parlent. Ayant l'enregistrement de leurs voix, on va retrouver la place qu'ils ont occupée quand ils ont parlé, et alors retrouver les aires du cerveau qui se sont activées.

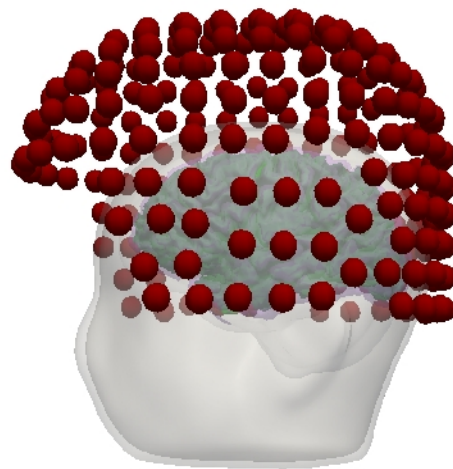


Figure 8: Image 1: Une machine MEG Image 2: Représentation en 3 dimensions des différentes couches du cerveau ainsi que des capteurs MEG, ces micros placés autour de la tête permettant d'entendre les neurones parler.

V- Quand le cerveau contrôle des tâches plus complexes

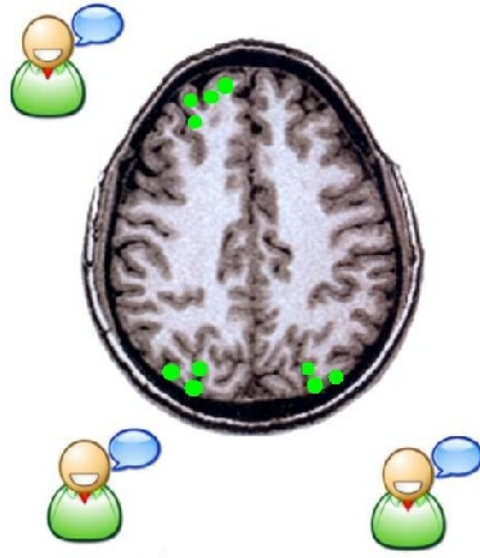


Figure 9: Pour effectuer une tâche complexe: lire, faire ses lacets, conduire... plusieurs parties du cerveau s'activent.

Lorsque nous voulons faire une action simple comme bouger un doigt, la partie du cerveau attribuée à cette fonction s'active et envoie le message aux muscles du doigt de bouger. Mais lorsque nous faisons des tâches plus complexes comme apprendre à faire ses lacets par exemple, comment le cerveau fait-il pour contrôler le mouvement de nos doigts en fonction de ce que nous voyons et ce que nous sentons? et comment réussissons-nous à le faire de plus en plus vite sans réfléchir?

Pour faire ses lacets, plusieurs parties du cerveau doivent s'activer en même temps. Les neurones contrôlant les doigts se mettent à parler pour envoyer le message aux muscles des doigts de bouger, les neurones du cortex visuel s'activent aussi pour vérifier qu'on a fait une belle boucle et les bonhommes logés dans la partie du cerveau attribuée à l'apprentissage s'activent également pour nous permettre de faire nos lacets de plus en plus vite.

Tous ces neurones ont besoin de communiquer entre eux pour être efficaces sinon les doigts essaieraient de faire une boucle sans avoir vu les lacets, et nous passerions notre temps à apprendre à les faire! Pourtant les petits bonhommes ne sont pas les uns à côté des autres dans le cerveau, alors comment font-ils pour communiquer entre eux?

VI- L'IRM de diffusion: reconstruire les fibres qui permettent aux neurones de "parler"

Les neurones ont besoin de communiquer les uns avec les autres, mais pas avec tous en même temps.

Pour communiquer de manière privée, les petits bonhommes utilisent des sortes de téléphones reliés par des fils (Figure 10). Ils peuvent ainsi parler en toute discrétion avec des neurones même éloignés sans déranger les autres neurones. Les lignes de téléphones s'appellent les fibres et constitue la matière blanche. Ces fibres sont tellement fines qu'elles ne sont pas visibles à l'oeil nu, ce sont micro-structures. Pourtant, grâce à l'IRM de Diffusion, on est capable de reconstruire ces fibres qui relient les neurones.

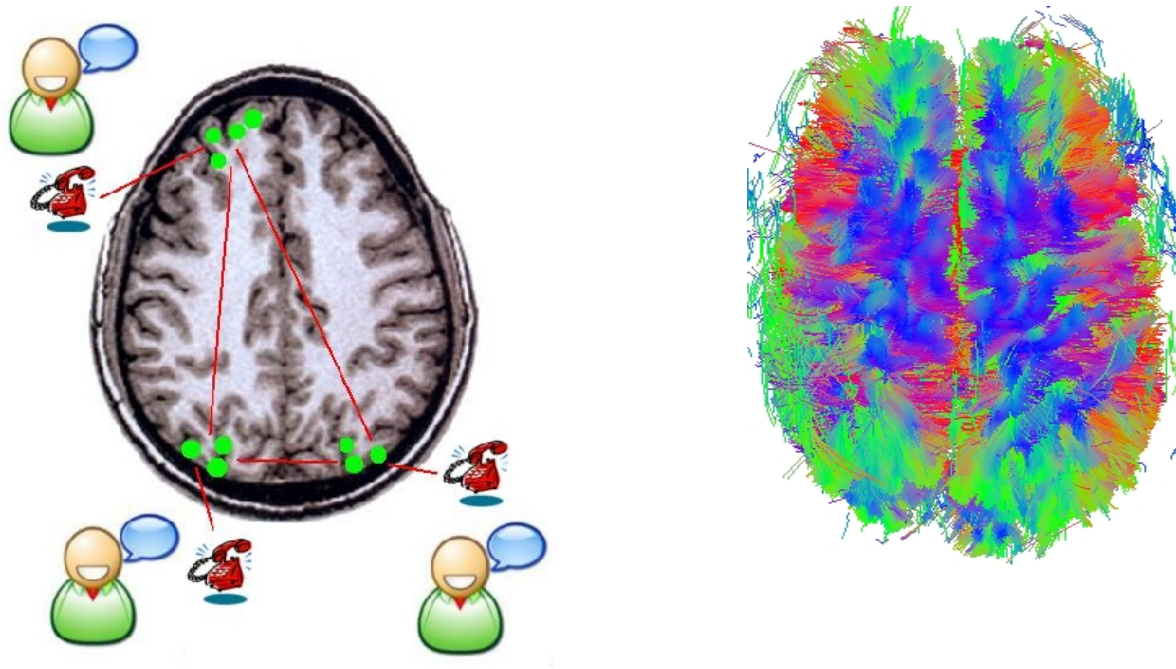


Figure 10 et 11: Les neurones communiquent entre eux par des fibres que l'on peut reconstruire grâce à l'IRM de Diffusion

L'IRM de diffusion est une autre technique d'imagerie médicale qui permet, grâce à des algorithmes informatiques appelés tractographie, de reconstruire les très fines fibres qui composent la matière blanche. Un exemple de reconstruction de fibres est présenté Figure 11.

L'IRM de diffusion est une technique assez récente. La première image date de 1985. Les médecins ne sont pas encore très habitués à utiliser cette technique mais c'est là que la recherche intervient. Il existe beaucoup de maladies qui touchent les fibres et empêchent aux neurones de bien communiquer: les maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer, l'épilepsie ou les accidents cardio vasculaires (AVC). En recherche, on effectue des études comparatives pour détecter les fibres d'un patient malade qui sont abimées. Pour cela, on choisit un groupe de sujets sains et un groupe de patient et on leur fait passer à tous un IRM de diffusion. Puis on reconstruit chez chacun d'eux les fibres de la matière blanche. Par des méthodes statistiques, on compare l'ensemble des fibres des deux groupes.