

Neuroimagerie par Résonance Magnétique (Neuro-IRM)

Professeur Emmanuel Alain CABANIS et ses collaborateurs

A. Istoc, M.T. Iba-Zizen, A. Abanou, C. Habas, T.H. Nguyen, J.L. Stiévenart,
M. Yoshida, L. Bellinger, C.Bougniot, M.Thibierge, U.Salvolini

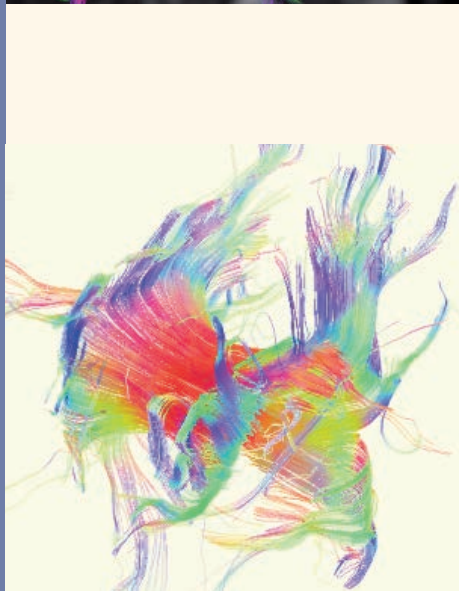
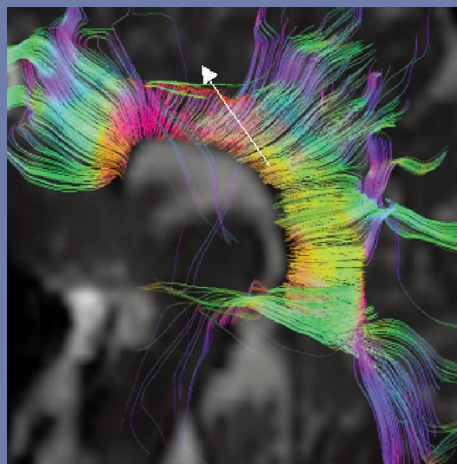
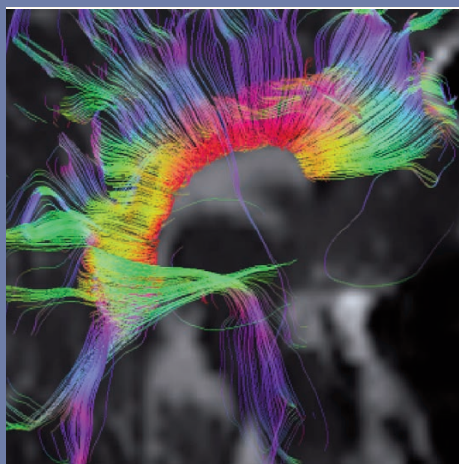


fig 1.

a	b
c	d

Représentation filaire du corps calleux

- a) vue latérale droite ; b) vue latérale gauche, avec défaut tumoral pathologique (flèche) ;
c) Chez un autre patient avec codage coloré directionnel et d) représentation tubulaire.

Images obtenues avec un Imageur RM de 1,5 Tesla (1,5 T).

Neuroimagerie par Résonance Magnétique (Neuro-IRM)

Le phénomène physique "Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)" est découvert en 1946, aux USA, par les physiciens américains Félix Bloch (1905-1983) et Edward Mills Purcell (1912-1997), prix Nobel de physique en 1952. "L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)", naît 36 ans plus tard (1972, première "zeugmatographie", image plane (2D) d'une coupe de tubes capillaires remplis d'eau, puis d'un citron, à partir du signal RMN), grâce à Paul Lauterbur (1929-) et Peter Mansfield (1933-), chimistes américains, prix Nobel de médecine 2003.

Par définition, la RMN est "nucléaire" (N), avec le noyau de certains atomes para-magnétiques. Le proton, charge positive du noyau Hydrogène, est le plus exploité car le plus présent dans le corps humain vivant (70% de H_2O , elle-même 70% des tissus biologiques).

La RMN est ensuite "magnétique" (M), les protons étant soumis à un champ magnétique intense BO, de 10 à 60 000 fois le champ magnétique terrestre naturel moyen (0,5 Gauss), soit 2000 à 30 000 G., ou encore 0,2 à 3 Tesla. La charge électrique positive et la rotation permanente du proton lui confèrent la propriété de para-magnétisme (sensibilité à un champ magnétique).

La RMN enfin, est "résonance" (R) de la fréquence de rotation du proton avec celle d'un pulse électro-magnétique de radio-fréquence (RF) déterminée (quantum d'énergie) par l'équation de LARMOR. Ainsi, les protons du corps humain, mis en résonance dans un champ magnétique intense, permettent à la région anatomique explorée du corps humain de fabriquer ses propres coupes anatomiques in vivo, après excitation électro-magnétique transitoire (quelques millisecondes) et ré-émission, en réponse, d'un signal.

Après un temps chimique "in vitro" ("spectrométrie RM ou SRM"), et à partir de 1978, cette nouvelle imagerie RM est reconnue comme "le plus grand événement" depuis la découverte des rayons X par W.C. Roentgen en 1895.

Elle suscite immédiatement recherches et développements industriels. Une première image RMN de la tête est publiée en 1980. Depuis, la pratique de l'IRM bouleverse plusieurs spécialités médicales et chirurgicales, par son immense sensibilité et son inocuité. Elle donne accès à de nouveaux diagnostics et à une nouvelle connaissance des pathologies, presque instantanément et sans souffrance pour le malade (dans la tête, le cerveau et la moelle épinière, par ex., tumeurs (fig.2), traumatismes, maladies vasculaires, congénitales et dégénératives, chez l'enfant et l'adulte. Cette efficacité explique qu'en 2005, 90 millions de patients ont bénéficié d'un examen IRM sur l'une des 12 000 machines IRM qui fonctionnent dans le monde (dont 250 en France). On estime à 1 milliard le nombre d'examen IRM pratiqués depuis 1985 sans qu'aucun effet nocif n'ait été signalé.

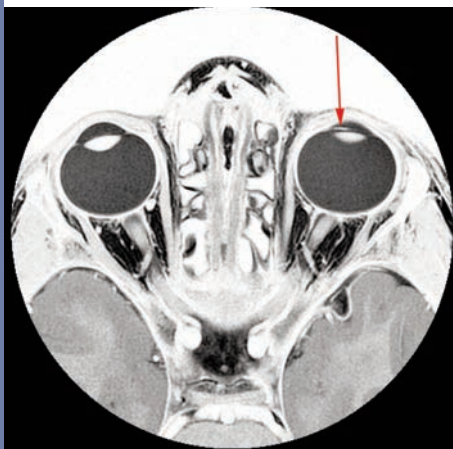


fig 2. Tumeur maligne, millimétrique, de l'iris gauche (flèche) (3T)

En pratique, le patient est introduit, sur un lit, dans le tunnel d'un aimant de haute puissance (1 à 3 tesla) avec antennes de réception-émission RF incluses. De puissants ordinateurs calculent les séquences excitation-réception commandées par le médecin puis la construction de l'image, voxel à voxel. De 4 à 10 séquences (quelques secondes à quelques minutes) sont alors pratiquées, patient immobile dans le tunnel.

Les séquences sont commandées depuis une station de pilotage de la machine en dehors de la

cage de Faraday. L'examen dure 20 à 45 minutes, selon la région anatomique et sa complexité (p.ex exploration d'un genou ou de la tête) et selon la pathologie (tumeur, accident vasculaire...). Le patient, avant l'examen, enlève ses vêtements et met une robe de chambre, un bonnet et des chaussures de papier, afin d'éviter toute présence de matériel ferro-magnétique au sein du tunnel de l'aimant. Un interrogatoire préalable, voire un examen radiologique par scanner Rx, dépistent tout matériel ferro-magnétique intra-corporel (pace-maker, prothèses métalliques, dentier etc...).

Selon les séquences choisies, le résultat attendu d'un examen IRM de la tête est de quatre types.

1. Anatomie 2D (fig5) et 3D (fig3,4,5) de la tête et des vaisseaux, affichées sur l'écran vidéo puis traitées (3D), explorations sélective 3D des artères et des veines (Angiographie RM ou ARM) ;

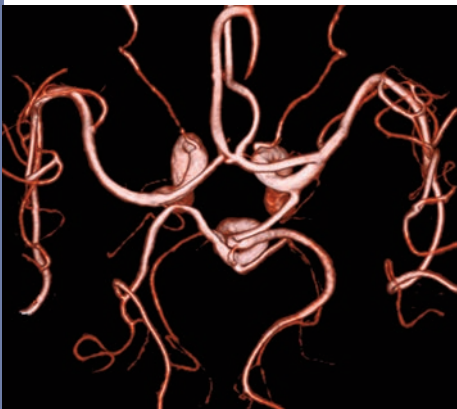


fig 3. Angiographie IRM du cercle artériel de la base du cerveau : artères cérébrales et ophtalmiques gauche et droite en affichage 3D surfacique

2. Anatomie-physiologie en "IRM par tenseur de diffusion (IRM TD) et tractographie" où de nouveaux modes d'acquisition "de diffusion" isolent les paquets d'axones des neurones du cerveau (thème de cette présentation) ; à l'IRM précédente s'ajoute, aujourd'hui, l'anatomie intime du cerveau plaquée sur son fonctionnement (fig.1et 4) ;

3. Physiologie cérébrale, c'est à dire IRM fonctionnelle (IRM (f)), affichant la réponse des zones spécifiques du cerveau à une stimulation sensorielle ou sensitive périphériques (vision, audition...) (fig.4) ou bien motrice ;

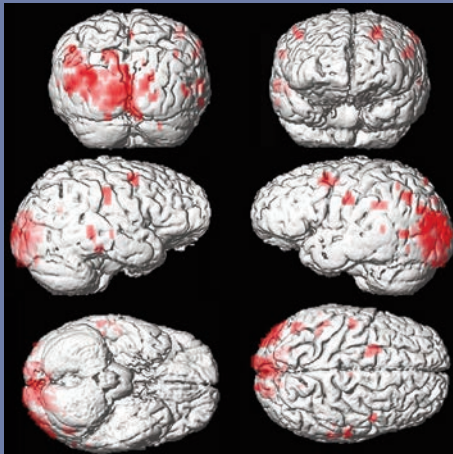


fig 4. IRM(f) (3T) Stimulation visuelle du cortex cérébral et des zones de la vision

4. biochimique et moléculaire, la SRM s'applique aujourd'hui, aux différentes parties de l'encéphale. Quotidiennement, cette "neuro imagerie" reconnaît une anomalie de signal comme tumeur cérébrale, avec ses limites, ses rapports et ses dimensions, mesure son degré de vascularisation ; ainsi les neuro chirurgiens ont-ils, non seulement le diagnostic probable pré-opératoire, mais encore le suivi évolutif (éventuelle récurrence, dans certains cancers). Autre exemple, celui des pathologies vasculaires : l'angio RM détecte et analyse dans tous les plans de l'espace les dimensions et la topographie d'un anévrisme artériel, le volume et les conséquences d'une malformation artério veineuse... Dans un retard mental, l'IRM anatomique décèle des anomalies de migration cellulaire in utero et la SRM peut rattacher cette anomalie à une pathologie génétique. Autre résultat majeur de l'IRM, la sclérose en plaque (SEP), grave et invalidante maladie inflammatoire de la substance blanche : des séquences localisent des atteintes du cerveau et de la moelle épinière où la SRM affirme le diagnostic. L'efficacité de protocoles thérapeutiques ralentissant l'évolution de la maladie est, ensuite, régulièrement suivie par des examens de contrôle. Le corps humain tout entier et toutes les spécialités de la médecine profitent, aujourd'hui, de ces avancées.

Fruit des savoirs de la physique et des mathématiques, la RMN puis l'IRM, avec leurs innombrables applications, ont offert un nouveau futur à la médecine et au bien être de l'humanité.