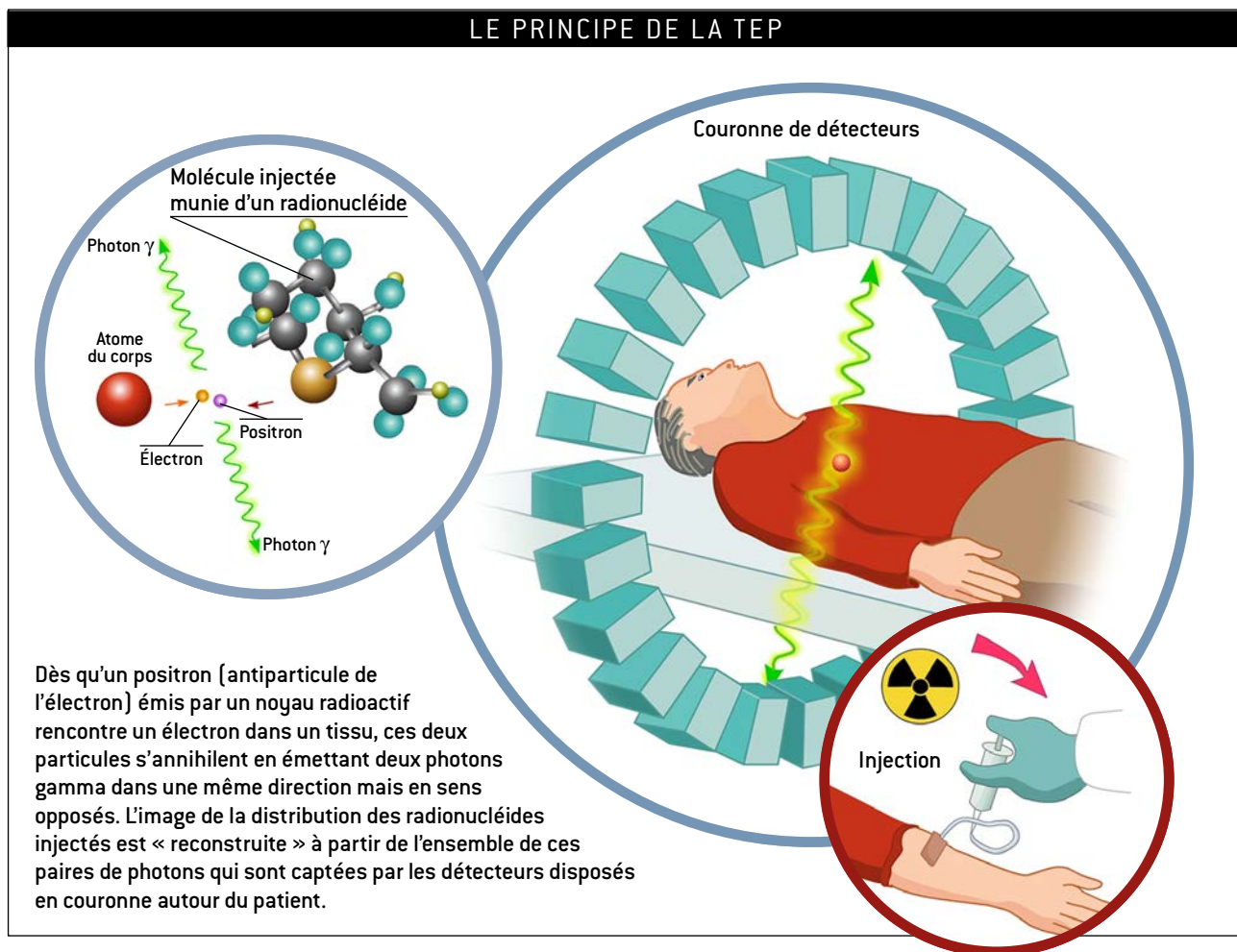


LE PRINCIPE DE LA TEP



pas assez précis. En dépit de capacités de comptage inédites, les deux prototypes construits par le Leti ne se montrent pas assez performants pour le diagnostic clinique des cancers ; aussi la technique est-elle abandonnée au début des années 1990. Elle réapparaît vers 2010, grâce à la mise au point de nouveaux détecteurs, pour équiper rapidement tous les appareils commerciaux.

La TEP est une excellente méthode d'imagerie fonctionnelle : grâce à sa cadence d'acquisition pouvant atteindre une image toutes les deux secondes, elle permet d'observer des changements brefs dans l'organisme et donc de suivre des processus biologiques rapides. Elle ne fournit cependant pas de repères anatomiques précis ; c'est pourquoi elle est toujours couplée à un scanner X.

Les constructeurs développent actuellement des systèmes plus précis qui couplent la TEP et l'IRM. Un tel équipement vient d'être installé au SHFJ. C'est le troisième en France après ceux du Centre de recherche médicale par émission de positrons, à Lyon,

et de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Il sera ouvert aux centres de recherche et aux centres hospitaliers de l'Île-de-France pour des collaborations cliniques et de recherche.

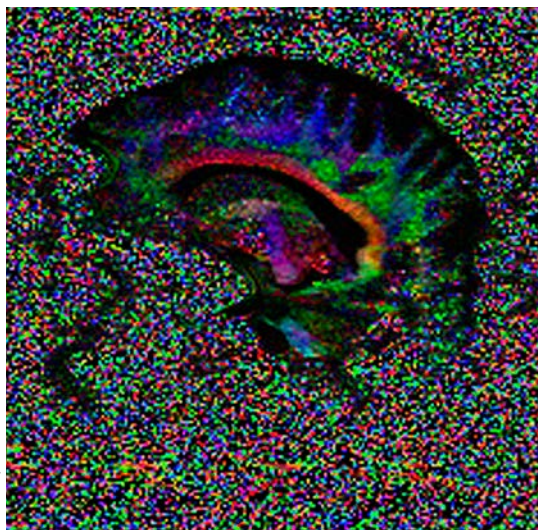
Une IRM toujours plus performante

C'est en s'appuyant sur un phénomène physique très différent de la radioactivité que l'IRM a été conçue : placés dans un champ magnétique et excités par une onde électromagnétique appropriée, certains noyaux atomiques absorbent une partie de cette énergie d'excitation puis la réémettent avec une fréquence particulière dans le domaine radio. Il a fallu attendre 35 ans après la découverte de cette « résonance magnétique nucléaire » (RMN), en 1938, pour qu'elle soit exploitée en médecine.

Le CEA a pris part aux développements nécessaires à cette exploitation grâce notamment à Anatole Abragam, qui a fondé en 1955 le Laboratoire de résonance magnétique à Saclay, et à Maurice Goldman,

qui a rejoint ce laboratoire. Depuis le début des années 1950, on sait que la fréquence de résonance d'un noyau dépend des liaisons chimiques dans lesquelles il est engagé. La RMN est donc utilisée pour déterminer la nature et la structure de molécules en solution ou en milieu solide, mais c'est seulement en 1969 que l'Américain Raymond Vahan Damadian propose d'appliquer la spectroscopie RMN pour détecter des tissus cancéreux.

L'IRM naît en 1973 lorsqu'un autre Américain, Paul Lauterbur, a l'idée de faire varier dans l'espace le champ magnétique appliqué, afin de localiser les noyaux résonants. En 1977, le Britannique Peter Mansfield introduit la technique d'imagerie écho-planaire, qui accélère l'acquisition des images, et l'IRM pénètre le domaine médical dès les années 1980 : on dispose alors d'un champ magnétique assez intense pour obtenir une résolution d'image convenable. Une grande avancée en la matière est réalisée au CEA, avec l'appareil conçu sous l'égide des physiciens Jules



UNE ÉTUDE DE TRACTOGRAPHIE réalisée en IRM de diffusion sur le scanner IRM 7T de NeuroSpin à Saclay. Après reconstruction, ces données permettront de visualiser les faisceaux de fibres de la matière blanche du cerveau.

Horowitz, Anatole Abragam, Maurice Goldman, Maurice Guéron et André Syrota. Muni d'un aimant de deux teslas, cet appareil à haut champ – le premier au monde – est installé en 1984 au SHFJ, qui devient alors un centre pionnier de spectroscopie RMN *in vivo* et d'IRM.

Les utilisations de la RMN sont très diverses. On y recourait dès les années 1960 pour mesurer la diffusion de l'eau dans un milieu. En 1985, Denis Le Bihan et Éric Breton, au SHFJ, proposent d'en tirer une nouvelle modalité d'IRM, en supposant que l'eau ne diffuse pas de la même manière dans tous les types de tissus biologiques. Cette « IRM de diffusion » trouve bientôt son utilité en clinique, d'abord pour la détection précoce des ischémies cérébrales, ainsi que l'a découvert l'Américain Michael Moseley, puis pour celle des tissus cancéreux. En 1990, Michael Moseley constate que, dans la matière blanche cérébrale, l'eau ne diffuse pas de la même manière dans toutes les directions. Il est probable qu'elle soit dirigée préférentiellement le long des axones. En 1992, Peter Basser et Denis Le Bihan s'appuient sur ce résultat pour esquisser « l'IRM par tenseur de diffusion », avec laquelle, grâce à de nouvelles applications informatiques, il deviendra possible dès la fin des années 1990 de retracer le trajet intégral des fibres nerveuses (c'est la « tractographie »).

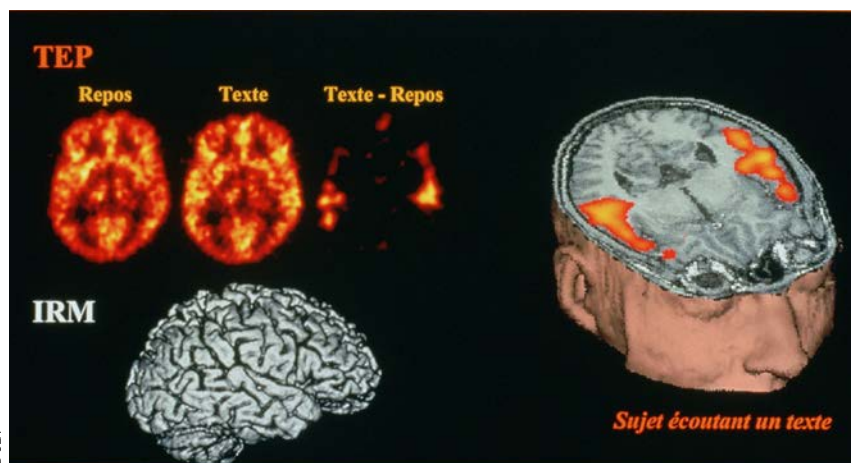
En 2007, l'ouverture de NeuroSpin à Saclay consacre l'expertise du CEA en matière d'IRM. Ce service rassemble toutes les techniques d'imagerie anatomique et fonctionnelle par RMN pour réaliser des études précliniques ou cliniques du cerveau. Le CEA y poursuit sa course vers l'IRM à très haut champ : depuis 2010, NeuroSpin dispose d'un aimant de 17,2 teslas de petit diamètre ; il s'apprête à en recevoir un autre, capable de délivrer 11,7 teslas dans un tunnel d'une largeur de 90 centimètres, suffisante pour y placer un être humain. L'imagerie du cerveau humain bénéficiera ainsi d'un niveau de performance unique au monde. Ce nouvel appareil est le fruit d'une collaboration entre Alstom, Siemens et le CEA, qui a mis à profit l'expertise en aimants supraconducteurs de son Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers. Il s'intègre dans un projet franco-allemand de développement des applications médicales de « l'IRM 11,7 T », dont l'IRM moléculaire.

Outre l'augmentation du champ, un moyen de collecter davantage de signaux en une passe, afin de rendre l'IRM encore plus précise et rapide, consiste à polariser les noyaux pour rendre leur réponse plus intense. Cette voie fait l'objet de recherches très actives à l'Iramis (Institut rayonnement matière du CEA).

Un enjeu pour les neurosciences

Accroître ainsi les capacités de l'imagerie anatomique et fonctionnelle intéresse particulièrement les neurosciences. Il s'agit, par exemple, de relier les connaissances du fonctionnement des neurones issues de l'observation microscopique à celles des activations de différentes régions cérébrales à l'échelle de la seconde, ou de détecter les agrégats de protéines anormales qui sont typiques de certaines maladies neurodégénératives, telles que la maladie d'Alzheimer. À Fontenay-aux-Roses, le Mircen (*Molecular Imaging Research Center*), un institut commun au CEA et à l'Inserm, développe et valide des techniques d'imagerie dédiées à ces fins.

Toutes ces avancées témoignent de l'importance prise par les recherches transversales qui, en imagerie, associent physique, électronique, mathématiques, informatique et biologie, et par lesquelles le CEA répond à de grands enjeux de santé publique. ■



UN COUPLAGE DE TEP ET D'IRM. Grâce à la comparaison de deux images, l'une obtenue lors de l'audition d'un texte par le patient (*Texte*), l'autre acquise lors d'un moment de silence (*Repos*), la TEP met en évidence les zones cérébrales spécifiquement impliquées dans l'écoute. L'image résultante (*Texte - Repos*) est intégrée à une vue en coupe anatomique obtenue par IRM (*à droite*) afin de bien localiser ces zones dans le cerveau.