

NEUROSCIENCES

comportements

sept. 2010

LES NEUROSCIENCES...

DE L'IMAGERIE MEDICALE...AUX SCIENCES COGNITIVES...

OU... VOIR LE CERVEAU FONCTIONNER...POUR COMPRENDRE SON ROLE...



Les premières communautés humaines pratiquaient une économie de subsistance, ensemble des activités d'une collectivité humaine lui permettant d'assurer la survie immédiate de ses membres. Les Aborigènes du centre de l'Australie représentent actuellement, par leur mode de subsistance et leur organisation sociale un modèle de société telle qu'elle devait exister il y a plus de 20 000 ans. Selon Coppens (1983, Le singe, l'Afrique et l'Homme, éd. Fayard, Paris), les premiers hommes possédaient déjà beaucoup de nos "qualités": bipèdes, omnivores et artisans, ils étaient à la fois opportunistes mais prudents, malins et sociaux. Curieux, ils s'intéressaient à tout ce qui touchait au monde dans lequel ils vivaient, mais évidemment, ne pouvaient pas connaître ce qui était en eux qui leur permettait d'appréhender ce monde.

C'est à la préhistoire que remontent les premières préoccupations des êtres humains pour un "esprit guidant leur comportement". Si les toutes premières approches faisaient intervenir des forces extérieures à l'individu pour expliquer les divers phénomènes, des démonstrations exprimées sous forme de lois, vont voir le jour avec le développement des premières civilisations.

L'intérêt pour la connaissance scientifique va décliner avec les Romains, puis tout au long du Moyen-Age. Il faudra attendre la Renaissance pour que se développe à nouveau une vision scientifique du monde et de l'être humain. La séparation entre la philosophie et les sciences s'est principalement opérée au XVII^e siècle avec le développement du courant empiriste proclamant la nécessité de l'observation et de l'expérimentation pour la compréhension des phénomènes. Les sciences humaines, elles, ne prennent réellement naissance qu'au cours du XIX^e siècle. Ce retard s'explique par la difficulté d'adapter la méthode scientifique aux phénomènes sociaux et humains, le plus souvent particuliers ou non mesurables. A cette même époque on assiste à l'essor des sciences "dures", exactes et expérimentales.

En même temps, des générations de philosophes se sont penchées avec délectation sur leur propre fonctionnement cérébral : ils ont posé les bonnes questions, auxquelles **les neurobiologistes et les spécialistes de la cognition apportent des éléments de réponse, notamment par la conjugaison de la psychologie expérimentale et tout récemment de l'imagerie cérébrale.**

Les premières localisations des aires du cortex cérébral responsables de l'utilisation du langage datent des années 1860, quand Paul Broca autopsia un malade qui avait, au cours d'un accident antérieur, perdu la parole. La démarche a été constante depuis cette date historique : le fonctionnement normal du cerveau était déduit « en positif » des déficiences pathologiques qui inhibent certaines fonctions cérébrales. Au milieu du XX^e siècle, des cartes des aires corticales sont élaborées et, progressivement, on établit des liens entre ces aires et les fonctions cérébrales. Les progrès sont lents, car les observations – les « cas » dont on tire des informations pertinentes –, sont accidentelles et non reproductibles. Depuis les années 1950, les neurosciences comportementales se sont enrichies de l'immense apport de la neurophysiologie cellulaire qui, depuis les années 80, cède le pas à la neurobiologie moléculaire. Nous devons à ces deux disciplines toutes nos connaissances sur le fonctionnement des neurones et sur celui des réseaux de neurones.

Entre temps, les années 1980-1990, porteuses d'espoirs, furent celles de la génétique : en décodant le génome humain, on espérait percer les secrets de l'organisme, mettre au jour ses modes de fonctionnement intimes, découvrir comment traiter les maladies génétiques. Las. Les espoirs ne furent pas (ne sont pas encore ?) comblés. Simultanément, toutes les composantes des neurosciences se mobilisaient autour de la recherche sur le cerveau : neurobiologie, neurologie, neuropathologie, linguistique, étude du comportement, psychologie, imagerie cérébrale ou encore intelligence artificielle. **Les années de la génétique allaient céder progressivement le pas aux années cerveau et l'imagerie cérébrale étendre et améliorer ses champs d'investigation.**

Tout change au début des années 1980, avec l'avènement de méthodes d'imagerie performantes: le fonctionnement normal du cerveau est observable. On découvre les aires cérébrales activées par telle ou telle tâche cognitive –apprendre des mots, se les remémorer–, voire par tel ou tel état mental –penser à un événement triste ou heureux, imaginer que l'on bouge un bras, alors qu'il reste immobile-. On sait maintenant observer en direct le cerveau qui pense et commande l'action.

Neuroscientifiques et psychologues placent une à une les pièces du puzzle, car le puzzle est matériel et la vieille distinction entre cerveau et esprit s'estompe. Les messages des sens se combinent avec les données emmagasinées dans les circuits de neurones, pour sélectionner les informations (on oublie les souvenirs inutiles), les renforcer (les connaissances « utiles » sont gravées dans le cortex) et les moduler (les émotions influent sur ce qui est gravé dans notre mémoire). Dans ce contexte global, le cerveau est le maître d'œuvre du comportement dont les modalités sont analysables.

L'IMAGERIE CEREBRALE: LE MICROSCOPE DE LA PSYCHOLOGIE

Au tournant des années 1990 - la décennie du cerveau -, de nouvelles techniques d'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle sont apparues: on a commencé à observer le cerveau fonctionner, en temps réel, avec une précision jamais égalée jusqu'alors. Ce fut d'abord la tomographie par émission de positons (TEP), puis l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Ces techniques de visualisation du cerveau ont conduit à reconsidérer les relations étroites entre le cerveau et la psychologie, qu'il s'agisse de l'étude de la perception. De l'attention, de l'imagerie mentale, de la mémoire, du langage, des activités numériques, du raisonnement logique, de la conscience. Selon Michael Posner, de l'Université Cornell, aux États-Unis, l'un des pionniers en la matière: «Le microscope et le télescope ouvrirent, en leur temps, de vastes domaines de découvertes scientifiques insoupçonnées. Maintenant que de nouvelles méthodes d'imagerie permettent de visualiser les systèmes cérébraux de la pensée normale et pathologique, la cognition humaine pourrait être à l'aube de progrès similaires. » L'histoire des sciences consacra-t-elle l'imagerie cérébrale comme le microscope de la psychologie? Peut-être; toujours est-il qu'aujourd'hui un grand laboratoire ne peut pratiquer la psychologie cognitive sans utiliser l'imagerie. Certains avancent même qu'une nouvelle discipline est née. C'est à présent au tour de la fée psychologie - déjà centenaire - de se pencher sur le berceau de la dernière-née, l'imagerie cérébrale fonctionnelle.

VOIR LE CERVEAU FONCTIONNER...

La psychologie est-elle la mère de l'imagerie cérébrale fonctionnelle? Beaucoup de psychologues répondraient que oui, y compris ceux qui ont délibérément ignoré le cerveau. Cependant, l'imagerie cérébrale, sans être ni rétive, ni ingrate, s'identifie plutôt à d'autres précurseurs, dont certains très anciens. Comment ne pas admettre que les spécialistes actuels de l'imagerie cérébrale se sentent plus proches d'un Georges Cabanis (1757-1808), médecin et philosophe français, qui déclarait au XVI^e siècle: «Le cerveau sécrète la pensée comme le foie la bile», que des psychologues cognitivistes affirmant au XX^e siècle qu'il n'y a rien à apprendre du cerveau quand on est spécialiste de la pensée? Parmi les aînés véritables de l'imagerie cérébrale, l'un des plus anciens est sans doute Claude Galien (131-201), médecin grec qui, bien avant l'erreur dualiste de Descartes, s'était autorisé le conseil suivant: «N'allez pas consulter les dieux pour découvrir par la divination l'âme dirigeante, mais anatomisez-vous auprès d'un anatomiste.»

En pratique, tout s'est joué en trois décennies, à la fin du XX^e siècle. Pendant cette période, différents chercheurs, aux États-Unis et en Europe, ont su adapter à l'étude de la neurophysiologie du cerveau, les progrès contemporains de la physique, des mathématiques et de l'informatique. Un prix Nobel devrait un jour consacrer les acteurs de cette entreprise collective. Il en ressort que l'on dispose aujourd'hui de méthodes d'imagerie tridimensionnelle qui produisent des images numériques reliées à l'activité des neurones en tout point du cerveau: dans le cas de la tomographie par émission de positons, on mesure le débit sanguin cérébral dans les différentes régions du cerveau par le biais de la concentration d'une molécule d'eau radioactive injectée au sujet de l'expérience; dans le cas de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, on suit la concentration en désoxyhémoglobine, une molécule qui reflète l'oxygénation du sang. Dans les deux cas, le débit sanguin augmente localement pour réguler le métabolisme des aires qui participent à l'accomplissement des tâches cognitives étudiées par les psychologues. On « voit » ainsi le cerveau en action avec une résolution spatiale de l'ordre de cinq millimètres pour la tomographie par émission de positons et d'environ un millimètre pour l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle.

LA NOUVELLE ALLIANCE...

Malgré un dualisme cartésien tenace, malgré l'éclipse du cerveau, la psychologie cognitive ne pouvait rester insensible à cette révolution technique. Certains psychologues, d'abord américains, l'ont très vite comprise. Dix ans de recherches, concentrées dans quelques laboratoires pionniers aux États-Unis, au Canada, en Europe et au Japon, ont déjà prouvé la fécondité de cette nouvelle alliance entre la psychologie et l'imagerie cérébrale dans tous les domaines de la cognition. En France, ces dernières années, le Département des sciences de la vie du CNRS, sous l'impulsion de Jacqueline Godet et aujourd'hui de Bernard Pau, a affiché son soutien à ce nouveau programme interdisciplinaire, l'une des priorités de ce département dans le cadre de l'après-génomique.

C'est à Paris que s'est tenue, en 1995, la première conférence internationale sur la cartographie du cerveau humain, présidée par Bernard Mazoyer, conférence qui est devenue ensuite le congrès annuel de la discipline. Au fil des années, les participants ont constaté la place essentielle prise par l'imagerie cérébrale dans les travaux de psychologie, y compris ceux qui portent sur les fonctions cognitives supérieures, tels le raisonnement logique, les capacités mathématiques, la conscience. Outre les progrès techniques, l'étude des fonctions supérieures est le fait le plus marquant de ces dix dernières années, tant pour la psychologie que pour les neurosciences. Au début de l'imagerie, on observait, par exemple, comment s'activaient les aires cérébrales durant la perception visuelle d'une forme colorée, d'un mouvement, d'un mot isolé, ou encore lors de la formation de l'image mentale d'un objet lors de la lecture.

DE NOS JOURS, ON PEUT EXAMINER LE CERVEAU D'UN ETRE HUMAIN VIVANT...

La plupart du matériel étudié par les anatomistes consistait en coupes qui ont été conservées ou en cerveaux entiers prélevés après la mort. Depuis longtemps, les scientifiques ont recherché des méthodes qui leur permettraient d'examiner le cerveau humain vivant, d'en voir les structures, et le fonctionnement de celles-ci pendant divers états comportementaux. Ce rêve est maintenant réalisé. Depuis le milieu des années 1970, des progrès techniques majeurs ont permis aux chercheurs d'établir des représentations détaillées du cerveau humain vivant. Ces techniques exigent une analyse informatisée complexe de mesures fournies, par les rayons X, par la distribution de substances radioactives dans le cerveau, ou par des changements dans les propriétés électromagnétiques des molécules dans le cerveau. Tous ces outils fournissent des images des structures profondes du cerveau humain vivant, ce qui améliore beaucoup l'évaluation clinique des altérations cérébrales et contribue à la recherche fondamentale.

Une radiographie ordinaire (aux rayons X) de la tête révèle les contours du crâne, avec peu ou pas de définition du tissu cérébral. La densité aux rayons X de toutes les parties du cerveau étant à peu près la même, le contraste apparaît faiblement entre les différentes régions du cerveau. Pour obtenir du contraste entre le tissu cérébral et les vaisseaux sanguins, les chercheurs injectent des colorants dans les vaisseaux. On appelle angiogrammes les images aux rayons X qui en résultent. Les angiogrammes fournissent une vue des contours des voies sanguines du cerveau et sont très utiles pour décrire les pathologies vasculaires, telles que l'accident vasculaire cérébral.

QUELQUES TECHNIQUES DE L'IMAGERIE...(FIG. 1)

Les progrès en informatique, tant dans les ordinateurs que dans les logiciels, ont conduit à de nouvelles techniques. Celles-ci permettent d'intégrer dans une image du cerveau, différentes vues photographiées aux rayons X; cette représentation ressemble à une coupe transversale. Ces images sont des tomogrammes (du grec tomos = « section » et gramma = « enregistrement » ou « image ») et la technique pour produire les tomogrammes est la tomographie assistée par ordinateur ou CT (computerized tomography). L'appareil utilisé est

couramment appelé « scanner » à rayons X. Les tomogrammes sont réalisés grâce à une source mobile de rayons X fixée sur un arc situé autour de la tête. Le patient est étendu sur une table et sa tête est insérée au milieu d'un anneau en forme de beignet. La source de rayons X est déplacée sur une voie circulaire, et à chaque position, elle libère une petite quantité de radiations qui traversent la tête. Le degré d'absorption de cette radiation à l'intérieur de la tête dépend de la densité des tissus. Un anneau de détecteurs placé juste en face de la source de rayons X analyse la quantité de radiations qui a traversé la tête. Le tube à rayons X et les détecteurs sont alors déplacés vers une nouvelle position, et le processus est répété plusieurs fois. Une image composée est construite par ordinateur à partir de ces photographies prises aux rayons X sous différents angles autour de la tête. La méthode permet d'amplifier énormément de très petites variations de densité aux rayons X qui existent entre des tissus de diverses régions du cerveau. La figure 1a représente un tomogramme typique d'un étage cérébral; chaque élément de l'image (ou pixel) qui entre dans la composition de l'image finale, résulte d'une analyse mathématique complexe de cette petite région cérébrale photographiée sous différents angles. La résolution spatiale de cette technique a encore été améliorée, au point que de très petites modifications comme le rétrécissement d'une circonvolution peuvent maintenant être visualisées. La figure 1a illustre l'utilisation de la CT dans l'étude des effets comportementaux d'un accident vasculaire cérébral. Cette technique a permis d'observer des changements cérébraux dans la maladie d'Alzheimer, la schizophrénie, la dyslexie, et dans bien d'autres troubles.

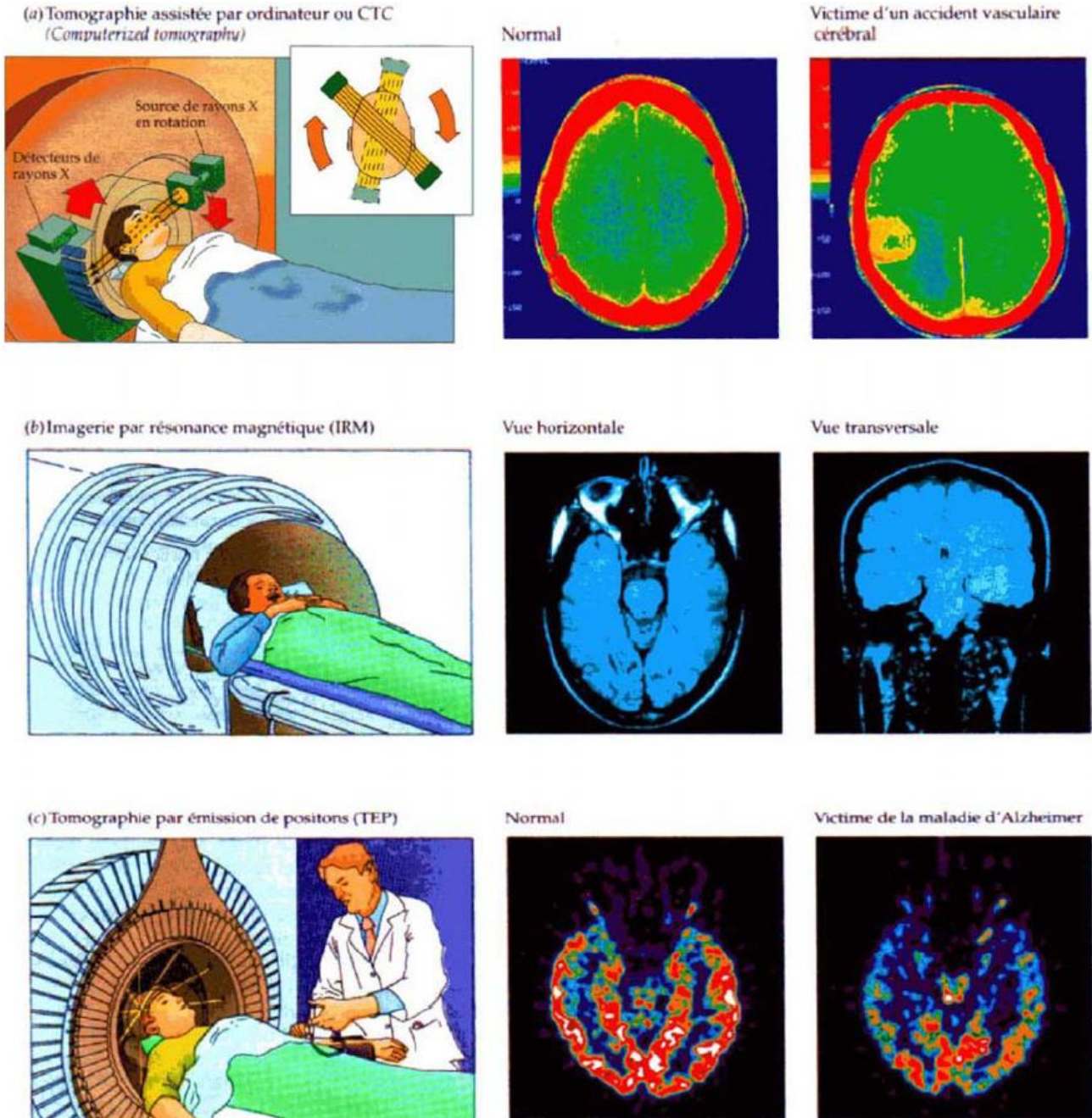


Fig. 1 - Visualisation du cerveau humain vivant

Trois techniques importantes d'imagerie cérébrale : à gauche les méthodes, au milieu et à droite, les images réalisées. (a) la tomographie assistée par ordinateur (= computerisée) CT peut être utilisée pour étudier l'organisation du cerveau, et le langage. Les images présentées proviennent d'un individu normal et d'un patient ayant subi un accident cardio-vasculaire, dont la lésion est représentée par une grande tache jaune. (b) l'imagerie par résonance magnétique (IRM) offre des images particulièrement riches en détails comme celles des coupes frontale et horizontale obtenues dans le cerveau d'un sujet normal. On notera la netteté dans la définition des circonvolutions du cortex cérébral. (c) la tomographie par émissions de positons (TEP) indique les niveaux d'activité métabolique dans le cerveau ; ces images proviennent d'un homme normal et d'un patient atteint de la maladie d'Alzheimer ; on remarquera le niveau d'activité plus élevé dans le cerveau témoin. Habituellement, le codage arbitraire des couleurs va du bleu (activité très faible) et des autres couleurs froides (activité faible) aux couleurs chaudes, en particulier au rouge (activité forte) et au blanc (activité très forte).

La tomographie assistée par ordinateur reste un outil des plus valables, bien qu'une nouvelle technique, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est devenue un concurrent sérieux. L'IRM génère des images qui révèlent certains détails structuraux du cerveau vivant, sans qu'il soit nécessaire d'exposer celui-ci à des rayons X (Andreassen, 1989). L'IRM se fonde sur l'utilisation des ondes radioélectriques et d'autres formes d'énergie magnétique. Le patient est étendu au centre d'un grand aimant (fig. 1b), et l'effet moléculaire dû à l'application des champs magnétiques est enregistré par un détecteur à bobine dont les réponses successives sont analysées par ordinateur. L'image finale (fig. 1b) peut révéler des modifications extrêmement fines dans le cerveau telle qu'une perte de myéline autour de groupes d'axones, symptôme caractéristique des maladies démyélinisantes. Cette nouvelle technique a permis d'étudier amplement des anomalies structurales chez des individus de tout âge et de toute condition. Les images du fonctionnement physiologique du cerveau ont d'abord été obtenues par une technique appelée la tomographie par émission de positons (TEP). Pour obtenir des images de l'état fonctionnel du cerveau on injecte des substances chimiques radioactives dans la circulation sanguine. Ces radio-isotopes se dirigent vers le cerveau et leur émission peut être évaluée par des détecteurs situés à l'extérieur du corps (fig. 1c). L'analyse informatisée de ces données révèle que l'absorption et l'utilisation de ces substances est différente dans des régions cérébrales distinctes. La substance la plus communément utilisée est un type de glucose radioactif qui est absorbé dans les différentes zones du cerveau selon leur niveau d'activité métabolique (fig. 1c). La colorisation de cette information donne une image étonnante qui met particulièrement en lumière les aires d'intense activité métabolique. Cette technique permet d'établir des cartes métaboliques du cerveau pour certains états cérébraux tels que l'attention, les mouvements, les réponses à des stimuli visuels, et la prise de décision. Grâce à des techniques spéciales, on peut identifier des régions cérébrales qui sont activées par des stimuli ou des tâches spécifiques. De plus, on peut aussi reconnaître des régions ayant des réponses métaboliques anormales, alors que leur structure est intacte.

Chaque méthode que nous venons de décrire a ses limites. Elle peut être trop lente (avec un faible pouvoir de résolution temporelle), ou pas assez discriminative (avec un faible pouvoir de résolution spatiale), ou trop chère. Mais ces problèmes sont vite surmontés par l'amélioration rapide des techniques. Le progrès de l'imagerie cérébrale nous remémore l'histoire de la photographie. Dans les années 1850 environ, les premières photographies exigeaient des temps d'exposition de plusieurs minutes (leur résolution temporelle était faible), la texture de l'image était grenue (leur résolution spatiale était faible), et les images n'étaient pas colorées. Graduellement, le film photographique est devenu d'un usage plus rapide, au point que maintenant il peut saisir l'aile d'un oiseau-mouche ou une balle en plein vol, le grain s'est affiné, permettant des images aux détails très subtils, et les photographies sont maintenant en couleur. Le faible pouvoir de résolution temporelle a posé un réel problème aux utilisateurs des techniques de CT, IRM, et TEP. Cependant, un progrès récent, une forme d'ordinateur plus complexe, ultrarapide, pour la CT, (ou tomographie à faisceau électronique) permet de réaliser une image complète en moins de 50 millisecondes. Dans le cas de l'IRM, on a obtenu une vitesse plus rapide grâce à une technique nommée la IRM fonctionnelle (IRMf) ou RMN rapide. Cette technique est fondée sur l'utilisation de gradients de champs magnétiques très puissants, oscillant rapidement, et sur des ordinateurs très puissants. Une amélioration de la technique de l'IRMf permet actuellement aux scientifiques de détecter la consommation d'oxygène par les régions actives du cerveau, ce qui donne une image complète de l'activité de ces régions. Les images obtenues par TEP et IRMf sont devenues des outils indispensables pour déchiffrer les processus du traitement de l'information dans le cerveau humain.

IDENTIFICATION D'UNE ACTIVITE CEREBRALE SPECIFIQUE (FIG. 2)

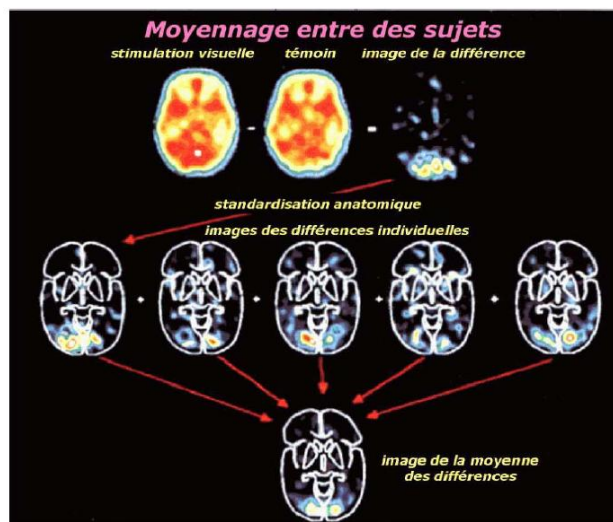


Fig. 2. - Identification d'une activité cérébrale spécifique

Plusieurs illustrations de ces chapitres sont les images obtenues par tomographie par émissions de positons (TEP) ; elles présentent l'activité du cerveau, spécialement dans les cas de maladies cérébrales ou de processus cognitifs. Généralement la plus grande partie du cerveau est active, aussi l'identification d'une activité spécifique nécessite des méthodes spéciales. L'image obtenue par TEP en haut à gauche (marquée stimulation visuelle) a été obtenue quand une personne fixait son regard sur un point entouré par un damier qui clignotait ; la composition suivante (marquée témoin) a été réalisée quand une personne regardait uniquement le point de fixation. Il est difficile de saisir les différences lorsque l'on compare les deux images, mais si les valeurs témoin sont soustraites des valeurs de stimulation on obtient une représentation de la différence, comme celle qui figure en haut, à droite (différence) ; sur cette image, on voit aisément que la principale différence dans l'activité cérébrale se situe dans la partie postérieure du cerveau (dans le cortex visuel). Les images de la rangée du milieu établies par TEP sont les images obtenues chez cinq sujets qui effectuent les mêmes tâches de stimulation et de contrôle ; chaque image est une représentation de la différence de l'activité cérébrale. La moyenne de ces cinq compositions résulte en une représentation de la différence moyenne de l'activité cérébrale pour les cinq sujets, qui est montrée en bas. De telles images fournissent des résultats plus fiables que les représentations individuelles, mais il leur manque un peu de la spécificité vue dans chaque image individuelle. Les images présentées dans ce cours, et établies par TEP sont des images de différence, généralement obtenues à partir d'images du cerveau d'un seul individu. Lorsque vous voyez des images du cerveau en fonctionnement, que ce soit dans ce cours (ou dans les magazines), notez s'il s'agit d'images composées directes ou de différences d'images ; dans ce dernier cas, voyez il s'agit de valeurs acquises chez un seul individu, de moyennes concernant un groupe.

Plusieurs illustrations de ce chapitre et des suivants sont des images obtenues par tomographie par émission de positons (TEP); elles présentent l'activité du cerveau, spécialement dans les cas de maladies cérébrales ou de processus cognitifs. Généralement la plus grande partie du cerveau est active, aussi l'identification d'une activité spécifique nécessite des méthodes spéciales. En conclusion, les neurosciences et les sciences du comportement qu'elles sous-tendent ont vu leurs techniques d'investigation s'améliorer considérablement en un demi-siècle environ. Les techniques d'imagerie ont très récemment permis une meilleure connaissance en psychologie cognitive.

Quant aux techniques de neurobiologie moléculaire, que nous évoquerons ultérieurement, elles ont permis depuis quelques décades, une approche des plus intimes de la physiologie cellulaire, et des neurones en particulier. Ces outils devenus familiers nous aident à comprendre l'implication fondamentale et prépondérante des neurones (et peut-être des cellules gliales !) dans le contrôle des comportements.

LES SCIENCES COGNITIVES...(FIG. 3)

En opposition apparente avec ce qui précède, les premiers philosophes grecs étaient persuadés que chaque personne devait avoir en elle quelque chose qui lui permettait de penser, de décider, de désirer, de se passionner, de s'émouvoir, de maîtriser ses comportements. Ce quelque chose devait être, selon eux, immatériel et distinct du corps. C'est à cette réalité personnelle, non matérielle, qu'Aristote donnera le nom "d'âme".

Cette conception sera reprise et systématisée, au XVIII^{ème} siècle, par Descartes. Celui-ci propose en effet une image de l'être humain constitué d'un corps, comme tout autre animal, et d'une âme logée dans le cerveau et chargée à la fois d'intégrer les informations en provenance du milieu (extérieur) et de générer les mouvements et les passions du corps. Ce dualisme cartésien sera pendant longtemps à la base des conceptions, d'une part de la psychologie se donnant à l'époque pour mission l'étude de l'âme siège de la raison et donc de toute connaissance, d'autre part de la médecine se donnant pour mission l'étude du corps (anatomie, physiologie, pathologie).

Au cours des XIX^{ème} et XX^{ème} siècle, la psychologie se définira successivement comme l'étude des activités mentales, l'étude de la conscience puis l'étude du comportement; la psychanalyse s'intéressera à l'étude de la soumission de la conscience à des forces inconscientes responsables de la plupart de nos actes.

De nos jours, la psychologie s'est enrichie des découvertes des neurosciences et de l'imagerie médicale sur le fonctionnement du cerveau et sur ses rapports avec le comportement. Depuis le début des années 80, on assiste à la naissance des sciences cognitives (fig. 3) par le rapprochement de plusieurs disciplines autour de faits humains nécessitant, pour leur compréhension, une approche multidisciplinaire. Les sciences cognitives partent du principe que l'organisme est un système qui agit intelligemment dans son environnement, en se faisant de celui ci des représentations mentales qu'il adapte sans cesse à ses besoins et à ses croyances.

La compréhension de ce que nous sommes repose d'abord sur la connaissance des racines biologiques du comportement tant en ce qui concerne notre héritage génétique que ce qui a trait au fonctionnement de notre corps et, plus particulièrement de notre cerveau. C'est pourquoi l'étude du fonctionnement du cerveau se révèle être fondamentale dans la mesure où tout ce que nous faisons (de nos activités intellectuelles à nos pulsions en passant par nos comportements motivés) est régi par notre système nerveux en relation étroite avec les organes sensoriels, les muscles, les glandes, ainsi qu'avec les systèmes circulatoire, respiratoire et digestif. La connaissance toujours plus approfondie de la chimie du cerveau nous indique que les substances sécrétées par le cerveau sont chargées de déclencher et d'orienter les messages nerveux. C'est, en particulier, par l'action de ces substances que nous viennent les émotions, le stress, la faim, les rêves etc... L'existence de l'être humain consiste en une interaction constante avec le monde environnant permettant à l'individu d'assurer son adaptation et, par là, sa survie depuis sa naissance jusqu'à sa mort. A tout instant, l'être humain se trouve confronté à des situations dont l'importance varie en fonction de ses besoins ou des objectifs visés.

Il est donc à prévoir, dans un avenir proche, qu'aucune explication du comportement ou de l'activité mentale ne pourra plus être proposée sans qu'elle ne tienne compte des données fournies par les neurosciences. Le déclenchement d'un comportement constitue la dernière étape d'une série de trois: la première, l'activation de l'organisme telle qu'elle résulte de la confrontation des conditions internes de la personne et des objets ou des situations présentes dans l'environnement, la seconde, le traitement que le cerveau fait subir à ces deux types d'informations externes et internes afin de mettre en place le comportement le plus adéquat compte tenu des éléments en présence et des expériences antérieures.

Ce que l'on désignait il y a une trentaine d'années par "fonctions cérébrales complexes" est actuellement désignée par "fonctions cognitives". La plus grande partie de notre cerveau leur est dédiée. Elles englobent la totalité de nos comportements, notre "manière de vivre individuelle et sociale".

Schématiquement, en plus des fonctions d'intégration sensori-motrice, les fonctions cognitives comprennent:

- les fonctions intellectuelles du cortex cérébral:
 - apprentissage, mémoire, attention, intention;
 - langage;
 - raisonnement, pensée, créativité;
- les fonctions motivationnelles du système limbique et de l'hypothalamus:
 - les comportements fondamentaux, alimentaire, dipsique et sexuel;
 - les comportements affectifs et émotionnels.

Les difficultés aussi bien techniques que conceptuelles que présente l'analyse de leurs bases neurobiologiques sont à la hauteur de l'intérêt qu'on leur porte. Malgré tout, le décodage de l'organisation structurale et fonctionnelle des régions cérébrales concernées a progressé grâce en particulier:

- o l'accumulation continue **d'observations cliniques chez l'homme** établissant avec précision les signes et les symptômes qui résultent des lésions de différentes aires cérébrales;
- o l'arrivée de **l'imagerie cérébrale "in vivo"** et des cartes métaboliques (voir fig. 2);
- o l'organisation **d'expériences complémentaires conduites chez l'animal** et en particulier chez les primates non humains et qui commencent à donner des indications sur les bases cellulaires, voire moléculaires de certains de ces phénomènes.

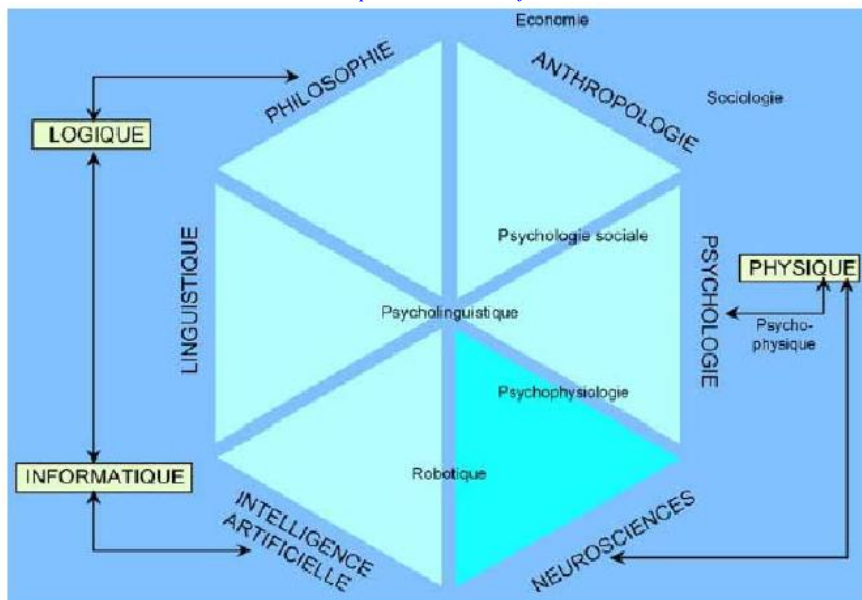


Fig. 3 - Les sciences cognitives, d'après D. Andler in *Encyclopedia Universalis*, 1990.

Fonctions intellectuelles du cerveau, apprentissage et mémoire : cortex cérébral ; Mécanismes cérébraux des comportements et des motivations : système limbique et hypothalamus

Sur la base de ces données ainsi rassemblées, il ne fait guère de doute que beaucoup de troubles neurologiques et psychiatriques finiront par livrer leurs secrets et que l'on pourra les assigner à des perturbations cellulaires et moléculaires affectant des régions impliquées dans les aspects les plus complexes du fonctionnement cérébral humain. La psychologie a trouvé ici une alliée dans l'imagerie cérébrale. Les psychologues et les neurobiologistes explorent le fonctionnement intime du cerveau, qui a cessé d'être une boîte noire.

Aujourd'hui, la recherche de pointe sur les fonctions cognitives adopte le cerveau comme objet d'étude, la psychologie cognitive comme approche théorique et l'imagerie cérébrale comme méthode expérimentale. Les mécanismes complexes de pensée, le langage, le raisonnement logique, les capacités mathématiques, la conscience, incluant émotions et sentiments, ont été des questions longtemps réservées aux philosophes ou aux psychologues, mais l'alliance récente de la psychologie cognitive et de l'imagerie cérébrale marque les premiers pas d'un programme d'étude associant psychologues et spécialistes du cerveau. Cette collaboration ne se limite pas à un échange de connaissances et à un enrichissement de la culture générale; aujourd'hui, les connaissances acquises changent notre rapport au monde. Nous découvrons l'intimité psychologique du cerveau humain et ses potentialités: ces données jettent un nouvel éclairage sur l'individu et sur la société. Après avoir résumé comment cette nouvelle discipline a émergé, nous examinerons, sur quelques exemples comment notre vie quotidienne en sera changée.

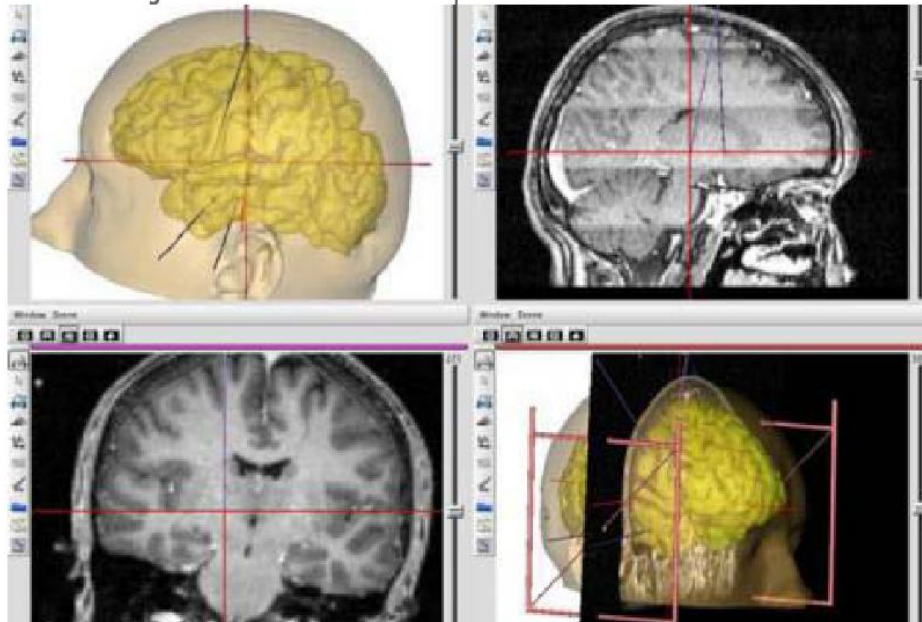
Selon Marc Jeannerod, de l'Institut des sciences cognitives de Lyon, lorsque la psychologie est née à la fin du XIX^e siècle «Deux fées, la biologie et la philosophie, se sont penchées sur son berceau. L'une et l'autre cherchaient à se concilier les grâces de la nouvelle venue: "Elle me ressemble", disait la biologie; "C'est mon portrait", répondait la philosophie. Le nouveau-né se montra vite rétif et ingrat, prompt à renier ses aînées.» La psychologie s'est alors individualisée, étudiant les opérations de l'esprit, parfois même seulement le comportement, par la méthode expérimentale, en relation avec la psychophysique. La psychophysique eut pour père fondateur le physicien et philosophe allemand Gustav Fechner (1801-1887): elle évalue le lien entre l'intensité d'un stimulus et la sensation psychologique qu'il déclenche.

En France, sous l'influence de Théodule Ribot (1839-1916), titulaire de la première chaire de psychologie au Collège de France, la psychologie scientifique s'est progressivement institutionnalisée au cours du XX^e siècle, mais, ce faisant, elle s'est progressivement éloignée de la fée biologie du cerveau. Si la psychologie française du XX^e siècle est bien devenue scientifique, le dualisme cartésien entre l'âme - rebaptisée cognition - et la matière - le corps et le cerveau -, a continué de structurer les pratiques scientifiques et pédagogiques. Ce dualisme persistant n'est pas le propre de la psychologie française, une sorte de «démon hexagonal». Il se retrouve au plan international, où l'on a longtemps considéré que seules comptent les fonctions cognitives et leurs interactions; peu importent les structures neuronales (dans le cerveau) ou électroniques (dans un ordinateur) qui les sous-tendent.

[L'IMAGERIE CEREBRALE VA PERMETTRE DE SCRUTER L'ACTIVITE NEURONALE \(LE MONDE, MIS A JOUR LE 17.05.06, 16H03\)](#)

La toute nouvelle technologie de l'IRMd permettra de révéler directement et de manière très fine l'activité neuronale

On n'est pas encore parvenu à visualiser la pensée humaine. Mais une équipe de chercheurs français (service hospitalier Frédéric-Joliot du Commissariat à l'énergie atomique, Orsay) et japonais (Centre de recherche sur le cerveau humain, université de Kyoto) vient de mettre au point une technique d'imagerie cérébrale très fine et très rapide permettant de visualiser certains des réseaux neuronaux impliqués dans ce processus : l'imagerie par résonance magnétique de diffusion de l'eau, ou IRMd. Il s'agit d'une technique radicalement différente de celles utilisées pour la tomographie par émission de positons (PET Scan) et pour l'imagerie par résonance magnétique classique (IRM). Ainsi, la première donne, pour le cerveau, des images fonctionnelles de l'activité métabolique des tissus en suivant en leur sein la trace, par exemple, de molécules d'eau contenant de l'oxygène radioactif. La seconde permet, grâce à un puissant champ électromagnétique, d'obtenir des clichés anatomiques des tissus en fonction de l'eau qu'ils contiennent. En fait, ces deux procédés d'imagerie s'appuient sur la détection des variations de débit sanguin. La nouvelle technique d'imagerie franco-japonaise, qui va faire l'objet d'une publication dans les Comptes rendus de l'académie américaine des sciences (PNAS) du 23 mai, est d'une tout autre nature. Elle s'attache à mesurer les mouvements aléatoires des molécules d'eau au sein des cellules du tissu cérébral. Or la structure et l'organisation géométrique de ce tissu influencent ces mouvements. En les décelant, l'IRMd révèle aussi bien l'activité des neurones que l'architecture fine du tissu neuronal. Ce nouveau procédé d'imagerie met en fait en évidence un phénomène naturel qui semble être directement impliqué dans le processus même de l'activation des neurones.



UN PETIT GONFLEMENT

Les mesures réalisées chez l'homme ont permis de montrer que l'activation cérébrale provoquait une légère baisse du coefficient de diffusion des molécules d'eau, conséquence d'un petit gonflement des cellules activées, expliquent les chercheurs du CEA. L'IRM de diffusion reflète ainsi directement les modifications de l'activité des neurones. Elle permet en outre de sonder la structure des tissus cérébraux à une échelle bien plus fine que la résolution des images IRM, qui sont de l'ordre du millimètre alors que l'on se situe ici à l'échelle microscopique." De plus, l'IRMd est beaucoup plus rapide que l'IRM classique." La différence est de 4 secondes, ce qui est énorme à l'échelle du fonctionnement cérébral, souligne Denis Le Bihan (CEA), premier signataire des travaux publiés par les PNAS. Si le cerveau travaillait à la vitesse des changements de débit sanguin, on se ferait écraser à chaque fois qu'on traverse la rue... Avec l'IRMd il semble, pour la première fois, que nous ayons accès à un paramètre direct de l'activation neuronale, le gonflement des neurones activés se produisant dès les premiers millièmes de seconde de l'activation." La mise au point de ce procédé n'a pas été simple. Voilà une dizaine d'années que Denis Le Bihan travaille sur ce thème. "J'avais bien, dit-il, fait une première tentative publiée dans les PNAS en 2001, mais les résultats étaient ténus et apparaissaient peu crédibles à nos collègues. Ce n'est plus le cas." Aujourd'hui, les travaux de l'équipe franco-japonaise visent à préciser la sensibilité spatio-temporelle de ce nouveau procédé. Les recherches futures seront conduites sur des imageurs dotés d'un puissant champ électromagnétique et qui seront installés dans le nouveau centre de recherche NeuroSpin du CEA de Saint-Aubin, près de Saclay (Essonne). "Nous espérons ainsi décupler la puissance de la méthode pour non seulement mieux voir les réseaux de régions activées dans les processus sensorimoteurs ou cognitifs, mais aussi remettre en question les principes de fonctionnement des neurones, souligne M. Le Bihan. Les propriétés physiques de l'eau semblent jouer un rôle déterminant qui a été négligé jusqu'à présent. Quant à savoir si nous allons "voir" la pensée humaine, mieux vaut parler de visualisation des réseaux neuronaux impliqués dans la "pensée" ou la sous-tendant. Tout le reste n'est que philosophie..." Jean-Yves Nau.