HAL
open science

Histoire de la découverte du cerveau et del'évolution des méthodes d'exploration

G. Gandolfo, Olivier Deschaux

To cite this version:

G. Gandolfo, Olivier Deschaux. Histoire de la découverte du cerveau et del'évolution des méthodes d'exploration. Biologie Géologie, 2010, 2-2010, pp.127. hal-01090539

HAL Id: hal-01090539

https://hal.univ-cotedazur.fr/hal-01090539v1

Submitted on 15 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration

Première partie : de la préhistoire aux civilisations antiques du pourtour méditerranéen et asiatiques

Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux

L'histoire des neurosciences montre que la découverte du système nerveux en général et du cerveau en particulier a été chaotique, émaillée de périodes de progrès et de reflux au fil des temps et des cultures. Pour mieux en saisir la portée, chaque étape dans les découvertes est replacée dans le contexte théorique de pensée qui les a présidées et en fonction des méthodes et des techniques d'exploration alors en usage.

À partir de quel moment de l'Histoire, le cerveau a-t-il suscité l'intérêt de l'Homme ? Quand est-il devenu un sujet d'étude scientifique ? Il est bien sûr impossible de répondre avec précision à de telles questions, dans la mesure où nous ne disposons que de fort peu de données fiables surtout pour les temps les plus reculés. Mais cela ne nous empêche pas de faire le point de nos connaissances en la matière en périodisant les différentes cultures et civilisations et, pour chacune des périodes historiques, en relatant brièvement le contexte philosophique et socioculturel dans lequel telle technique d'exploration et telle découverte majeure ont pu être faites, quand elles ne sont pas, selon le cas, purement et simplement entravées !

Préhistoire et sociétés primitives

Contexte

Il y a de cela quelques 35 000 à 60 000 années, l'Homme de Néanderthal en terrait ses défunts en creusant des tombes (La Chapelle-aux-Saints, Moustier, Arcy-sur-Cure...) dans lesquelles on a retrouvé divers présents : os taillés, silex, puis

➤ **Mots clés** : histoire des neurosciences, système nerveux, cerveau, crâne, méthodologie, médecine, chirurgie, culture, pensée, religion, philosophie

■ **Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux** : Maîtres de Conférences à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Laboratoire de neurobiologie et psychotraumatologie EA 4321

parures et mobilier funéraire. Certes, si l'on sait ainsi comment les hommes préhistoriques disposaient le cadavre dans la fosse d'inhumation et de quoi ils l'entouraient, on ne connait pas le pourquoi, ni leur idée de la mort et de l'au-delà. Pour autant, ces pratiques montrent qu'ils n'étaient pas seulement conscients de la mort, mais elles témoignent de fait des premières angoisses pour l'au-delà. L'attention particulière que l'Homme a pu alors accorder intuitivement à la tête ou au crâne s'inscrit probablement dans la recherche d'une relation existante entre l'esprit et la matière.

Découvertes

Qu'avons-nous à notre disposition montrant un intérêt quelconque pour le cerveau ? Des crânes trépanés. Des pratiques de trépanations sont en effet attestées aussi bien dans les sociétés préhistoriques (sinanthropiennes et proto-néandertaliennes), primitives, que protohistoriques (égyptienne, carthaginoise et précolombiennes). Encore qu'il faille établir une distinction majeure. D'une part, les trépanations *post-mortem* réalisées dans un but cultuel (cas des crânes suspendus des Dayak de Bornéo ou des têtes coupées que les druides vénéraient dans les sanctuaires celto-ligures provençaux d'Entremont et de Roquepertuse) ou cérémoniel (comme les têtes-calebasses avec caillou inclus des Papous de Nouvelle-Guinée servant d'instruments de musique) soulignent le caractère religieux ou mystique qui entoure le mystère de l'esprit. Dans cette optique, sont emblématiques les crânes servant de coupes libatoires : connus depuis le Paléolithique, cette coutume a été avérée chez les Scythes et les Barbares. D'ailleurs, l'étymologie ne trompe pas : l'allemand *Kopf* qui veut dire tête provient du latin *cuppa* (coupe) ; et les légionnaires romains abandonnèrent le mot *caput* au profit de *testa* qui signifiait *vase de terre cuite* puis *crâne*. Plus troublants sont ces corps de 8 000 ans trouvés dépecés dans la Baume Fontbrégoua à Salernes en France varoise selon la technique de boucherie employée pour les animaux (fragmentation systématique afin de retirer la moelle des os, crânes dont le trou occipital a été élargi pour faciliter l'extraction de la cervelle) et mélangés, de façon un peu suspecte, à des restes culinaires. Anthropophagie de survie ou cannibalisme funéraire ? Ce dernier était largement répandu et quelle que soit la forme prise (l'endo-cannibalisme vise à conserver au sein du groupe une part de l'énergie vitale du disparu ; l'exo-cannibalisme, qui concerne la manducation d'un étranger au groupe, cherche plutôt à le détruire en se l'incorporant réellement lors du repas), on ne mangeait pas forcément tout : certaines parties du corps étaient privilégiées. En Mélanésie, c'était ainsi le cerveau, siège de la force physique, morale et même sexuelle, car la substance cérébrale rappelle par son aspect le sperme : on l'ingérait donc mélangé à du sang et des fèces dans un récipient en forme de vagin. Il en allait de même aux Philippines chez les Ifugao de l'île Luçon : le vainqueur d'un combat tribal coupait la tête du vaincu, préparait une décoction avec la cervelle et du vin de palme, servant de philtre pour décupler ses forces, et gardait la tête en trophée dans un panier d'osier suspendu devant sa hutte. La distribution de la chair répondait alors à des règles strictes de préséance selon la parenté et la hiérarchie sociale : chez les Tupinamba du Brésil, le phallus était offert aux femmes, le cerveau et la langue aux enfants, les doigts, la graisse et le foie aux invités. Mais deux autres explications à ce dépeçage de la Baume Fontbrégoua

peuvent également être envisagées. Soit les défunts, après une exposition à l'air libre, ont pu être décharnés et désossés à l'aide d'instruments lithiques en vue de recevoir une sépulture secondaire, comme ce sera le cas chez certains Amérindiens. Soit il s'agit de victimes capturées et sacrifiées après des raids guerriers, une rude pratique qu'on pourra observer chez les anciens Caraïbes ou des tribus d'Amazonie. La science préhistorique atteint donc ici ses limites ultimes et montre qu'il faut se méfier des affirmations trop péremptoires.

D'autre part, les trépanations ont pu être effectuées sur des personnes vivantes, les trous de trépan étant alors entourés d'un bourrelet osseux, lequel nécessite au moins plusieurs semaines pour se former (*fig. 1*). Ces interventions-ci peuvent avoir une raison réparatrice, comme en témoignent les stigmates de fracture sur des crânes trépanés retrouvés au Pérou, « chirurgicale » contre les ostéites et les hydrocéphalies (exemple de crânes brachycéphales ibériques datant de l'époque Néolithique) ou encore « médicale » pour soigner l'hystérie, le délirium et les convulsions et, par le prélèvement de fragments d'os crâniens, comme remède contre l'épilepsie (*ossa wormiana*). Avec ces dernières, on touche donc vraiment au domaine de l'application pratique voire fondamentale, mais il est alors bien difficile de déterminer quelles en furent les premières expérimentations, d'autant que certaines trépanations auraient très bien pu être décidées pour libérer un esprit malfaisant, responsable de maux de tête, de convulsions, de crises de folie, à moins que, par elles, on n'eût tenté de se concilier quelque force occulte... Encore une fois, la plus grande prudence dans d'hypothétiques interprétations est de rigueur.

1. Crâne datant du Chalcolithique (Age du cuivre : vers 2 000 avant J.-C.) et portant deux trépanations cicatrisées (bourrelet osseux). Découvert en 1987 par G. Costantini et J. Pujol dans l'Aven-Grotte de Merdeplau (Aveyron) et conservé au Musée de Millau (photo Loïc Hibon)

Les civilisations antiques du pourtour méditerranéen

La Mésopotamie

Contexte

L'Histoire commence à Sumer, tel est le titre révélateur du livre (1956) de Samuel Noah Kramer (1897-1990). Car c'est bien l'invention de l'écriture qui a fait passer l'humanité de la Préhistoire à l'Histoire : des centaines de tablettes d'argiles de la fin de l'âge du Bronze récent et couvertes de signes en ougaritique, la langue locale du IIe millénaire, ont été retrouvées en 1929 dans la bibliothèque du Grand-Prêtre sur le tell de Ras Shamra ; à ce jour, près de 500 000 textes, essentiellement d'ordre pratique, nous sont parvenus.

Découvertes

Le musée du Louvre possède une stèle en diorite de plus de deux mètres de haut sur laquelle sont gravés en akkadien, la langue officielle de l'Empire, les 282 articles du code d'Hammourabi (vers 2003-1961 ou 1793-1750 ou encore 1730-1685), le sixième roi de la dynastie amorite de Babylone. Ce recueil de jurisprudence contient trois articles pouvant attirer notre attention :

Article 203 : si un homme a frappé le cerveau d'un homme de même condition, il payera une mine d'argent.

Article 204 : s'il a frappé le cerveau d'un mouchkînou, il payera dix sicles d'argent.

Article 205 : s'il a frappé le cerveau d'un esclave d'homme libre, on lui coupera l'oreille.

À l'évidence, le terme traduit par « cerveau » semble en fait employé pour désigner la tête ou le crâne, car aucune donnée anatomique sur le cerveau proprement dit ne nous est parvenue des Mésopotamiens. Leur religion était intimement liée à la magie, dans son rôle thérapeutique, et à la divination, dans sa fonction prophylactique: étaient d'ailleurs fort répandues des techniques divinatoires comme l'oniromancie, l'hépatoscopie (science des présages tirés de l'observation du foie) et l'extispicine (étude des entrailles, considérées comme le siège du sentiment). *Exit* donc le cerveau... Et même s'il n'était pas tenu comme organe essentiel, cela n'empêcha pas la civilisation sumérienne d'être déjà familiarisée avec les maladies neurologiques, comme l'épilepsie ou les convulsions, associées à des atteintes physiques, particulièrement aux traumatismes de la tête. Des essais de compréhension clinique ont même pu avoir lieu : une sculpture assyrienne de 650 av. J.-C. retrouvée dans les fouilles du palais d'Assurbanipal à Ninive (actuellement Kuyunjik en Irak) et conservée au British Museum, montre avec une précision dramatique une lionne paralysée après avoir été blessée d'une flèche dans la colonne vertébrale. Le pouvoir psychotrope de certaines plantes était également connu: des tablettes d'argile de Nippur et d'Uruk font ainsi mention de l'usage de l'opium.

L'Egypte pharaonique

Contexte

C'est le pays qui inventa l'Eternité, pour reprendre l'heureuse expression d'André Malraux. Trente dynasties et 295 pharaons vont assurer la possibilité d'une survie dans un autre monde et le principe moral qui en découle. Pour cela, une nécessité : la momification du cadavre. C'est ainsi grâce aux techniques d'embaumement que l'anatomie et la physiologie ont pu se développer. Mais aussi la chirurgie: parce qu'il fallait restaurer l'intégrité des corps avant l'entrée dans l'au-delà (on retrouva d'ailleurs de nombreuses prothèses sur des cadavres). Les anciens Egyptiens considéraient les organes internes du corps humain comme des êtres divins car ils poursuivaient leurs fonctions sans trêve, même lorsque l'individu est endormi: le cœur et le cerveau étaient sous la protection de la déesse Imsté, les poumons étaient confiés à la déesse Lépi, le foie à Dur-Mutaf, l'estomac et les intestins dédiés à la déesse Kébé-Snewef. En effet, religion, science et magie se confondaient à la fois dans l'esprit et dans la pratique. Les Egyptiens seraient ainsi à l'origine de presque toutes les pratiques d'occultisme, d'astrologie et de magie pure en vigueur dans l'Antiquité. On ne peut donc pas plus isoler l'art du mage de celui du médecin. Le plus ancien qui nous soit connu, Hésy-Rê, remonte à la IIIe dynastie (entre 2778 et 2723) et portait le titre envié de « Grand des médecins du palais ». Ces hauts dignitaires pratiquaient déjà le magnétisme et l'hypnose, et surtout la médecine astrologique en affectant chaque partie du corps humain à une planète spécialisée dont l'influence est bénéfique ou maléfique selon l'horoscope. Toutes ces « disciplines » étaient enseignées dans les fameuses Maisons de Vie, tout à la fois sorte de séminaire, de faculté des sciences et de médecine, de conservatoire des arts et métiers, de bibliothèque et de laboratoire de pharmacie...

Découvertes

Plusieurs papyrus médicaux sont parvenus jusqu'à nous. Le plus ancien est celui d'Imhotep, le ministre-architecte-médecin du roi Djoser (ou Djeser Ier) vers 2800 av. J.-C., où il prend le corps humain comme objet d'étude scientifique : il découvre ainsi le rôle du cœur dans la circulation sanguine, celui du cerveau dans l'intelligence, décrit déjà la relation existant entre une blessure à la tempe et un trouble du langage, et donne... la conduite à tenir pour rectifier un nez cassé (on en fit ainsi l'ancêtre de la chirurgie esthétique !). La plupart des papyrus sont plus ou moins fragmentaires, comme celui de Kahun, plus ancien manuel connu de gynécologie, écrit entre 2000 et 1800 av. J-C. Mais les deux plus importants sont ceux découverts en 1860 dans le Ramesséum, le temple funéraire de Ramsès II à Thèbes : achetés en 1882 chez un brocanteur de Louxor par le collectionneur américain Edwin Smith, ce dernier en conserva un (qui porte depuis son nom) et revendit l'autre, le plus long (108 pages) à l'égyptologue allemand Georg Moritz Ebers (1837-1898). Le papyrus Ebers datant de 1550 av. J.-C. est un manuel qui donne la liste des signes pathologiques rencontrés par un médecin dans son exercice quotidien. Il mentionne des états d'abattement et de découragement assez comparables à la sémiologie moderne

des états dépressifs et identifie plus de 700 drogues sur la base de leur origine, végétale, animale ou minérale. L'usage de la graine de pavot dans la douleur nous était déjà révélé par ces inscriptions hiéroglyphiques : « *Remède pour chasser les pleurs – fruits du pavot et excréments de mouche qui sont sur un mur – faire un mélange et prendre pendant quatre jours* ».

Quant au papyrus Smith, publié en 1930, c'est un traité chirurgical d'une vingtaine de pages (soit cinq mètres de long) qui traite des lésions et des traumatismes (48 cas répertoriés) et remonte au XVIIe siècle av. J.-C. Son approche semble scientifique: il décrit successivement les blessures du corps en suivant un ordre logique et ne fait presque pas appel aux causes occultes. On admet couramment que le cerveau y apparaît pour la première fois sous un terme qui lui est propre. Son importance y est appréciée correctement. On y parle d'une sensation de pulsation et de palpitation quand les doigts tâtent la surface d'un cerveau vivant exposé après un traumatisme. Le cas 6 informe que l'arrachement de la boîte crânienne découvre des « *rides semblables à celles qui se forment sur le cuivre en fusion* ». C'est donc la première évocation suggestive des scissures et des circonvolutions cérébrales. Sutures crâniennes, méninges et liquide cérébro-spinal sont également mentionnés. Il y est enfin consigné les effets sur les fonctions motrices de fractures du crâne ou des vertèbres cervicales et que les résultats sont différents selon le siège lésionnel.

Tout cela semble d'autant plus paradoxal que, comme dans la plupart des autres pays du Proche-Orient et de la Grèce homérique, c'est le cœur, et non point la tête, qui est reconnu en tant que source de vie, de l'esprit, de l'intelligence et de la pensée, qui s'expriment au travers de la langue, symbole de la puissance, comme le révèle déjà la cosmogonie de Memphis vers 2900 av. J.-C. Un rôle particulier du sang serait d'ailleurs de transporter les pensées jusqu'à la bouche où elles se transformeraient en paroles. Et c'est bien le c?ur, siège de l'âme, qui est pesé sur la balance de la justice, aux pieds d'Osiris, lors de l'épreuve de la psychostasie (ancêtre de notre Jugement dernier). Quant au cerveau, lors du rituel de l'embaumement, il n'est même pas, le plus souvent, conservé pieusement dans les vases canopes, contrairement aux autres organes (foie, poumons, estomac, intestins étaient généralement placés aux quatre coins du mausolée) : on se contente de l'extirper de la boîte crânienne et... de le jeter ! Ce qui prouve bien le peu de cas que les Egyptiens lui accordaient en tout cas pour leur survie dans l'au-delà...

La Grèce

Contexte

Si la civilisation hellénique fut si brillante, c'est à cause de l'effort exceptionnel des Grecs pour comprendre l'Homme et rendre compte de sa vie en termes de raison. Ainsi a-t-on attribué à l'Age d'or de Périclès (Ve siècle av. J.-C.) l'invention de la démocratie, de la réflexion politique, de la rhétorique, de la tragédie et la comédie, de l'histoire et la médecine. La problématique de l'âme et du corps a été l'un de

leur questionnement majeur, les disputes philosophiques demeurant longtemps théoriques, sans aucun appui expérimental. C'est dès la tradition homérique (IXe-VIIIe siècles av. J.-C.) que s'est en fait dégagée la notion d'âme (*anemos* : vent, souffle), cependant dédoublée en *thymos*, le flot de sang chaud qui évoque la passion, la volonté, l'esprit et la conscience, et en *psuchè*, le souffle frais de la respiration animale, donc la vie. C'est cette dernière qui siège dans la tête et, dans l'expérience de la mort, abandonne le vivant par la bouche tel un souffle (d'où l'expression *rendre son dernier soupir*). A partir de là, les pérégrinations de l'âme ne cessèrent plus.

Pour Thalès de Milet (v. 624-v. 548), le fondateur de l'Ecole naturaliste Ionienne, l'esprit se trouve dans le cerveau, qui représente l'unité de la conscience et sert de médiateur avec le corps. Selon Empédocle d'Agrigente (490 ou 485-435 ou 430), qui a énoncé le premier la doctrine des quatre éléments fondamentaux constituant toute chose (l'eau, la terre, l'air et le feu), l'âme, matérielle, est liée au sang et se meut comme les particules infimes des choses à travers les pores des appareils sensoriels, l'Homme percevant donc par les effluences issues de son corps, qui inhibent les autres sens non concernés (c'est la toute première hypothèse de la perception sensorielle) ; en revanche, le cœur est le siège des sentiments et de l'intelligence. Démocrite d'Abdère (v. 470-v. 370), le propagateur de l'atomisme fondé par son maître, Leucippe de Milet, élabora les diverses fonctions psychologiques et leur composante respective : « *Le cerveau surveille comme une sentinelle l'extrémité supérieure, citadelle du corps, confiée à sa garde protectrice. (...) Le cerveau, gardien de la pensée ou de l'intelligence* (contient les principaux) *liens de l'âme* ». Pensée et raison siègent donc dans le cerveau, mais l'émotion dans le cœur, qui est « *la reine, la nourrice de la colère* », et l'appétit, le désir, dans le foie. Démocrite, resté célèbre pour avoir déjà dit : « *tout ce qui existe dans l'univers est le fruit du hasard et de la nécessité* », se distingue ainsi de la tradition antique qui admettait le foie comme le siège de l'âme et de la vie et justifiait l'importance chez les devins des dissections hiéroscopiques. La structure atomique rend alors compte de la perception: ce sont les effluences objectales rencontrant les atomes de feu de la psychè qui créent ainsi le phénomène de la réalité. Tout comme la perception, la pensée s'organise alors à partir de « simulacres », sortes d'émanations qui se détachent des objets visibles et pénètrent en nous : « *Nous ne connaissons, en réalité, rien de certain, mais seulement ce qui change selon la disposition de notre corps et selon ce qui pénètre en lui ou ce qui lui résiste* ». Socrate (470/69-399), de son côté, avait une conception bien particulière de l'âme : tout organe étant en vue d'une fin, le corps tout entier existe donc pour l'âme et chacune de ses parties pour la fonction qui lui est naturelle. On retrouvera bien sûr une position similaire chez Platon (428/27-348/47), pour lequel l'âme a une localisation multiple (la raison siège dans le cerveau, l'ire dans le cœur et la cupidité dans le foie), même si dans le *Timée* tout provient de la moelle où « *les liens de la vie, puisque l'âme est liée au corps, ont été fixés et ont enraciné la race mortelle… Dieu (…) y implanta et y attacha les diverses espèces d'âme et au moment même de cette répartition originelle, il divisa la moelle elle-même en autant de figures que chaque espèce devait en recevoir. (…) Une partie devait, comme un champ fertile, recevoir en elle la semence divine ; il la fit*

exactement ronde et (lui) donna (…) le nom d'encéphale, dans la pensée que (…) le vase qui la contiendrait serait la tête. L'autre partie (…) il la divisa en figures (…) et les désigna toutes sous le nom de moelle. Il y attacha comme à des ancres les liens de l'âme entière, puis construisit l'ensemble de notre corps autour de la moelle qu'il avait au préalable enveloppée toute entière d'un tégument osseux ».

Le cas d'Aristote de Stagire (385/84-322) est un peu à part. D'abord, il distingua trois sortes d'âmes dans une conception hiérarchique des êtres vivants : l'âme végétative, limitée à la propagation et à l'assimilation, chez les plantes ; l'âme sensitive chez l'animal qui doit sentir et se mouvoir ; l'âme intellective ou rationnelle chez l'Homme, le seul doué d'esprit. Une telle hiérarchie se retrouve dans les fonctions proprement humaines, les plus primitives existant donc pour les supérieures dans l'ordre ascendant suivant : 1. nutrition : vie végétative ; 2. perception : vie de sensation ; 3. âme cinétique : puissance créatrice, désir et locomotion ; 4. âme rationnelle : intelligence et raison. Ensuite, Aristote fut le premier philosophe à donner un exposé raisonné de la dissection, car disséquer les animaux est un moyen de connaître leur corps. Lui-même s'y adonna et décrivit ainsi les deux enveloppes méningées (connues plus tard sous le nom de dure-mère et de pie-mère) et les deux hémisphères du cerveau. Mais, observant que les artères des cadavres sont souvent vides de sang, il en déduisit leur fonction aérifère ainsi que celle du cœur : ce dernier est à la fois l'organe respiratoire, puisqu'il distribue l'air dans le corps, et l'organe psychique car il produit la chaleur, le mouvement, la nutrition, la perception, les sensations et même la pensée. Quant au cerveau, il est froid et humide car fait d'eau et de terre, dépourvu de sang, il n'est pas relié aux organes des sens et ne sert qu'à assister les poumons dans leur fonction de refroidissement de l'organisme en abaissant la température sanguine et en entraînant le sommeil. Aristote renoua ainsi avec le cardiocentrisme de la tradition homérique, égyptienne, hébraïque et sémito-assyrienne et égarera les esprits pendant des siècles. De nos jours encore, il nous en reste une kyrielle d'expressions courantes pour décrire des aptitudes, des capacités, des sentiments et des fonctions qui ont bien pour origine le cerveau : des sensations et des émotions (*avoir le cœur gros, la rage au cœur, la joie au cœur*), du désir et de l'humeur (*de gaieté de cœur, de tout son cœur, s'en donner à cœur joie*), de l'affectivité (écouter son cœur, un cœur épris, fidèle ou volage, l'intelligence du cœur), de la bonté et de l'altruisme (*avoir un cœur d'or, le cœur sur la main, être sans cœur, gagner les cœur*), la source des qualités du caractère et le siège de la conscience (*un cœur bien né, avoir du cœur*), de la vie intérieure et de la pensée intime (*du fond de son cœur, parler à cœur ouvert*) sans compter les mots qui en dérivent : en français, le *courage* est une disposition du cœur ; en italien, *ricordare* est se souvenir, etc… Une omniprésence linguistique qui a de quoi consoler un *cœur bien triste* ou encore de *verser du baume dans le cœur*… Et la tentative de Straton de Lampsaque (v. 330-v. 270), son successeur au Lycée, de restaurer un cérébrocentrisme en faisant à nouveau du cerveau l'organe central de la pensée, ne changera hélas rien dans l'influence de l'aristotélisme sur les temps à venir.

Découvertes

Sous l'influence épistémologique et rhétorique des philosophes notamment présocratiques et sophistiques, les guérisseurs, les droguistes, les herboristes et les sages-femmes voulurent une médecine rationaliste grâce à laquelle la responsabilité de la santé humaine échoie désormais aux hommes et à leur environnement et non plus aux dieux de la mythologie. Ainsi virent le jour les écoles médicales, centres de formation souvent rivaux (Cos, Cnide, Cyrène, Crotone), enseignant aux médecins un savoir dont ils souhaiteront garder l'exclusivité, comme le soulignera le fameux Serment d'Hippocrate. C'est là que les découvertes majeures sur le cerveau purent avoir lieu. Alcméon (ou Alcmaeon) de Crotone (v. 520-v. 450) fut ainsi considéré comme le « père véritable » de la médecine expérimentale. Ce disciple de Pythagore, également astronome et embryologiste, laissa un traité *Sur la nature,* dont il ne reste que six brefs fragments (c'est donc par des témoignages interposés qu'on connaît son œuvre médicale). Vivisecteur de renom, il découvrit ainsi l'existence de la trompe d'Eustache et des nerfs optiques et montra que du cerveau partent les nerfs qui le relient aux divers organes des sens. L'étude de leur structure anatomique et de leurs qualités révèle leurs fonctions : on entend avec l'oreille, car elle est creuse et sèche ; on voit avec l'œil car il est mobile, son fond noir reflétant une humeur diaphane ; on goûte avec la langue car elle est molle, tiède et humide, etc. Constatant ainsi le lien entre les dérangements du cerveau et les modifications de la sensibilité, il lui attribua le rôle de *sensorium* commun auquel des conduits ou « pores » transmettent les modifications des organes sensoriels. Pour faire bonne mesure, à l'inverse de la tradition cardiocentriste, il fit également du cerveau le siège de la pensée et de la raison, des passions et de l'âme immortelle, devenant en quelque sorte le premier psycho-physiologiste connu. A cet anthropocentrisme près : seul l'Homme comprend, alors que les animaux perçoivent sans comprendre !

Ce qui fait qu'Hippocrate de Cos (460-entre 377 et 359), contrairement aux idées reçues, n'est donc pas plus le « père » de la médecine (son aura provient du *corpus hippocraticum*, une cinquantaine de traités rédigés entre 430 et 340 par plusieurs auteurs mais tous attribués à Hippocrate) que celui de la théorie des humeurs : le traité sur la *Nature de l'homme* attribue en effet à Polybe, son gendre, l'affirmation de la théorie humorale à partir de celle des quatre éléments d'Empédocle, différenciant ainsi la bile jaune (*cholé*) issue du foie, l'atrabile ou bile noire (*mélan cholé*) provenant de la rate, le sang (du latin sanguis) originaire du cœur, et le flegme (*phlegma*) appelé encore pituite ou lymphe, que secrète le cerveau. Des quatre humeurs principales ont été déduits quatre tempéraments : c'est la plus ancienne tentative connue de classification médicale selon une typologie. On discerne donc le type colérique (état psychique changeant de manière forte et rapide, tendu, et plutôt tourné vers l'extérieur), le mélancolique (état changeant fortement mais lentement, tendu, plutôt tourné vers l'intérieur), le sanguin (état changeant faiblement et rapidement, détendu, plutôt tourné vers l'extérieur) et le flegmatique (état changeant faiblement et lentement, détendu, mais plutôt tourné vers l'intérieur). L'équilibre des humeurs constitue la crase, sa rupture, la dyscrasie : elle engendre la maladie.
Pour la médecine hippocratique, il n'y a donc pas de coupure radicale entre le corps

et l'âme, comme le signale le traité intitulé *Humeurs* : « *L'âme, quand elle est au service du corps éveillé, se partage entre beaucoup de tâches; elle n'est pas à elle-même, mais se donne partiellement à chaque faculté du corps, à l'ouïe, à la vue, au toucher, à la marche, aux activités du corps entier; l'intelligence ne s'appartient pas. Mais quand le corps se tient tranquille, l'âme, mise en mouvement et éveillée, administre son domaine propre et accomplit toute seule toutes les actions du corps* ». Et de mettre en garde : « *Les maladies qui échappent à l'âme dévorent le corps* ». L'unité du vivant est ainsi affirmée et il est hors de question de séparer la guérison du corps de celle de l'esprit. Dans *Epidémies*, la direction que prend la maladie est soulignée : « *si elle* (l'atrabile) *se porte sur le corps, épilepsie; si sur l'intelligence, mélancolie* ». Donc, selon qu'elle se porte sur le corps ou le cerveau, on observe une maladie neurologique (l'épilepsie) ou une maladie mentale (la mélancolie). Car la distinction entre les deux est déjà établie pourtant : « *si l'encéphale est irrité, l'intelligence se dérange, le cerveau est pris de spasmes et convulse le corps tout entier (...) Cette affection se nomme apoplexie* ». En réalité, il s'agissait de l'épilepsie (du grec *epilambanein* qui signifie *attaquer*), qui devient donc un trouble cérébral attaquant le corps et les sens et n'est plus ainsi une maladie sacrée (*morbus sacer*), une possession d'origine divine, comme elle était considérée jusque-là. Le traité *De la maladie sacrée* défie en effet la superstition populaire et tance l'ignorance et les pratiques frauduleuses des magiciens et sorciers qui faisaient de l'épilepsie sacrée leur fonds de commerce. L'importance cardinale du cerveau y est appréciée à plusieurs reprises: « *Les hommes sont bien placés pour savoir que c'est du cerveau et du cerveau uniquement que proviennent nos plaisirs, nos joies, nos rires et nos railleries, aussi bien que nos peines, nos douleurs, nos chagrins et nos larmes. C'est par là (...) que nous pensons surtout, que nous connaissons, nous voyons, nous entendons et nous distinguons le laid du beau, le mal du bien, l'agréable du désagréable (...). C'est par le même organe que nous devenons fou ou délirant et que les peurs et les terreurs nous assaillent (...) et les rêves et les errances inopportunes (...). Toutes ces choses que nous endurons quand notre cerveau n'est pas sain, mais devient anormalement chaud, froid, humide ou sec, ou encore souffre de toute affection contre nature. (...) Je considère donc que le cerveau exerce le plus grand pouvoir sur l'homme* » (chapitre 14).

« *Le cerveau possède la fonction la plus importante chez l'homme; car il est pour nous un interprète de ce qui nous vient de l'air, s'il est en bonne santé. (...) pour la connaissance le cerveau est le messager. (…) Les yeux, les oreilles, la langue, les mains, les pieds agissent suivant que le cerveau a de la connaissance dans la proportion qu'il participe à l'air…* » (chapitre 16).

« *Nécessairement le corps, dans l'état de chagrin, frissonne et se contracte; de même dans l'excès de joie ; c'est pourquoi le coeur ressent le plus, ainsi que les phrènes (les poumons). Mais ni l'un ni les autres n'ont part à la pensée, mais c'est le cerveau qui est origine de tout cela* » (chapitre 17).

Et voilà pour les partisans du cardiocentrisme ! L'intelligence vient du cerveau : c'est pourquoi les dieux grecs sont le plus souvent représentés avec un grand front,

à l'opposé des travailleurs, des athlètes, des gladiateurs et des femmes, avec une petite tête. C'est en ouvrant la tête d'un bouc, animal sujet à l'épilepsie, qu'Hippocrate trouva un cerveau humide baignant dans un fluide hydrique à l'odeur diabolique. A l'évidence ce n'était pas la divinité, mais la maladie qui altérait ainsi l'organisme. Extrapolant son observation chez l'Homme, il jugeait que si la maladie s'était déclarée depuis longtemps, elle n'était plus curable car le cerveau était corrodé par le phlegme et dissous. Le phlegme, liquide froid, se mêle au sang, le refroidit et provoque ainsi la crise d'épilepsie. Aussi recommandait-il de procéder rapidement à une trépanation: ce furent probablement les premières interventions avérées de ce genre à visée thérapeutique. Par contre: « *D'autres fois, l'intelligence se trouble et le patient va et vient, pensant et croyant autre chose que la réalité et portant le caractère de la maladie dans des sourires moqueurs et des visions étranges* ». Le trouble est bel et bien d'ordre mental, cette fois-ci : « *Quand la crainte et la tristesse persistent longtemps, c'est un état mélancolique* », stipulent les *Aphorismes*. Hippocrate savait ainsi ouvrir le crâne en utilisant un trépan équipé d'un collet de sécurité pour ne pas entamer le cerveau une fois l'os franchi, mais toute fracture crânienne ne nécessitait pas, selon lui, une trépanation systématique. Ayant observé que l'hémisphère cérébral d'un côté répondait aux membres de l'autre côté, il proposa de trépaner le côté du crâne opposé aux symptômes. Enfin, quand le fragment d'une arme restait inclus dans la pulpe du cerveau, il conseilla non seulement de le retirer mais avec lui également le sang et la matière cérébrale infectée.

L'Égypte hellénistique

Contexte

A la mort d'Alexandre le Grand en 323 av. J.-C, tout se délite : Roxane, sa première épouse (il était polygame) et son héritier posthume sont assassinés ; son demi-frère est débile. L'Empire va alors se démembrer au milieu des luttes de ses généraux qui prennent le titre de *diadoques (successeurs, héritiers en grec*). C'est ainsi que l'Egypte échut à Ptolémée Lagos (d'où le nom de la dynastie des Lagides qui règnera jusqu'à l'infortunée Cléopâtre VII), qui renoua le culte du roi-sauveur en prenant le nom de Ptolémée Ier Sôter (v.367-283). Il fonda à Alexandrie d'une part la Bibliothèque, sur l'instigation d'un disciple d'Aristote, Démétrios de Phalère, laquelle sera riche de 700 000 manuscrits, un chiffre faramineux pour l'époque, rassemblés en partie avec de l'or, en partie par ruse et racket et qui sera incendiée au cours de l'hiver 48/47 par Jules César, et d'autre part le Muséum (littéralement le sanctuaire des Muses, à l'origine étymologique des musées), où des savants avaient d'abord été chargés d'inventorier et de classer la Bibliothèque. Ce vaste palais construit vers 290 servit bientôt tout à la fois d'académie, d'université et de centre de recherches, le premier du genre connu. N'y logeaient pas moins d'une centaine de sociétaires, rémunérés avec générosité par l'Etat, parmi les meilleurs dans chaque discipline : la poésie (avec Callimaque de Cyrène, Apollonios de Rhodes, Aratos de Soli et Théocrite de Syracuse), la grammaire (avec Zénodote d'Ephèse, Aristophane de Byzance et Aristarque de Samothrace), les mathématiques et l'as-

tronomie (avec Euclide, Archimède, Hipparque de Nicée, Aristoxène de Tarente, Eratosthène de Cyrène et Aristarque de Samos). Le centre culturel du monde méditerranéen va ainsi se déplacer d'Athènes, déjà déclinante, à Alexandrie d'Egypte, qui deviendra donc le foyer inégalé de la civilisation dite hellénistique, laquelle brillera pendant quelques six siècles (bien au-delà donc de la fin de la dynastie ptolémaïque). C'est dans ce cadre prestigieux que la neuroanatomie antique vécut son âge d'or, car ce fut le seul endroit sur terre où l'on pût se décider à autopsier des cadavres humains, seuls ceux étant jusque-là ouverts par accident ou par la guerre pouvant l'être sans que ce soit jugé comme une abomination.

Découvertes

Hérophile de Chalcédoine (v. 340-300) fut le fondateur du centre des études médicales du Muséum et de l'Ecole empirique. Il semble avoir été le premier à disséquer des cadavres humains en public : on l'a accrédité de 600 autopsies. Ses détracteurs, comme le médecin latin Celse dans son *De medicina* (Ier siècle ap. J.-C.), l'accuseront même d'avoir pratiqué la vivisection sur des criminels, fournis par Ptolémée en personne. Hérophile étudia particulièrement le cerveau, dont il donna la toute première description anatomique, le séparant du cervelet: il en découvrit le quatrième ventricule, le *calamus scriptorius*, le *torcular*, décrivit les méninges, les plexus choroïdes, les nerfs rachidiens, les sensations motrices et sensorielles, les sinus veineux et le dense réseau artériel cérébral qui sera connu sous le nom de *rete mirabile (réseau merveilleux)* avec Galien. Il parvint ainsi à la conclusion que le cerveau est, premièrement, le centre de tout le système nerveux, à l'origine de la moelle épinière et des nerfs, et deuxièmement, l'organe de la pensée, de l'esprit et de l'intelligence. À nos yeux d'aujourd'hui, il peut paraître étrange que personne avant lui ne se soit douté d'un fait aussi patent. Ce serait oublier le cardiocentrisme d'Aristote toujours en vigueur. Il formula enfin une théorie des forces de l'être vivant: force nutritive siégeant dans le foie, force échauffante dans le cœur, force pensante dans le cerveau et force sensible dans les nerfs. Il a laissé de nombreux traités, où l'un de ses aphorismes exprime toute sa rigueur et son honnêteté: « *Par-dessus tout le médecin devra connaître les limites de son pouvoir, car celui-là seul qui sait distinguer le possible de l'impossible est un médecin parfait* ».

Erasistrate de Céos (v. 320-250), fondateur de la secte dite des Méthodistes ou des Erasistratides (qui persistera jusqu'au Ier siècle ap. J.-C.), fut plus physiologiste que réellement anatomiste. Issu de l'Ecole médicale de Cnide où il étudia la médecine avec un gendre d'Aristote, il l'exerça d'abord en Syrie, puis se fixa à Alexandrie à la cour de Ptolémée II *Philadelphe* (littéralement l'*ami de ses frères*, un surnom ironique, car il en tua deux et exila un troisième) et de son fils Ptolémée III (v. 283-221) dit *Evergète* Ier (c'est-à-dire *Le Bienfaiteur*). Partant des travaux d'Hérophile, Erasistrate démontra l'origine des nerfs dans le cerveau, distingua les nerfs moteurs et les nerfs sensitifs, mit en évidence le rôle du bulbe rachidien et du cervelet : si Aristote a dissocié ce dernier du cerveau, c'est bien Erasistrate qui lui attribua le premier une fonction en observant que les coureurs rapides (daims, lièvres) ont des circonvolutions cérébelleuses plus serrées que les autres animaux. Il

différencia aussi les circonvolutions cérébrales humaines et animales, postulant que cette surface plissée était en rapport avec le développement des facultés intellectuelles. Il améliora également les connaissances sur le mécanisme cardio-pulmonaire, après avoir découvert la valvule tricuspide et la trachée-artère: à partir du cœur se forme l'*esprit vital*, du sang oxygéné en fait, qui est distribué par les artères dans toutes les parties du corps, dont le cerveau, dans les ventricules duquel il sera transformé en *esprit animal* (que les modernes appelleront *influx nerveux*), transmis alors par les nerfs dans le reste de l'organisme. Excellent clinicien, il étudia également le premier les relations entre maladies et lésions, créant ainsi l'anatomie pathologique.

La formidable avancée d'Alexandrie dans le domaine anatomo-fonctionnel du cerveau restera malheureusement sans suite. Octave, qui n'était pas encore devenu César Auguste, emporta la bataille navale d'Actium (31 av.J.-C.), provoquant ainsi la chute de la reine Cléopâtre. Il réduisit alors la terre millénaire des pharaons à l'état de simple province romaine.

Rome

Contexte

Par ses conquêtes et par les brassages intenses qu'elles impliquaient, Rome ne pouvait que s'enrichir de nouvelles conceptions philosophiques et religieuses, ses contributions originales étant, tout compte fait, relativement peu nombreuses. C'est surtout comme vulgarisateurs de la pensée hellénique que ses principaux penseurs sont connus, au point qu'il est plus judicieux de parler de culture gréco-romaine. Stoïcisme et épicurisme ayant ainsi une écoute particulièrement favorable chez les lettrés latins, le *De natura rerum* (*De la Nature*), le long poème didactique de Lucrèce (v.99/98-55), demeure dans ce cadre une synthèse exceptionnelle du matérialisme d'Epicure. Dans le Livre IV, Lucrèce ébaucha le principe de la décomposition du mouvement et de sa recomposition illusoire par le cerveau, bien avant donc que l'astronome grec Claude Ptolémée ne décrivît dans son *Traité d'Optique* (IIe siècle ap. J.-C.) les phénomènes de persistance rétinienne des impressions lumineuses. Selon Lucrèce, les sensations sont produites par des corpuscules invisibles répandus dans l'atmosphère qui, en s'introduisant dans les différents conduits du corps, affectent diversement l'âme. Ces corpuscules ou « simulacres » (*simulacra*) se divisent en plusieurs classes. Les uns sont envoyés par les corps mêmes et sont les émanations ou de la surface ou de l'intérieur des objets (sensations visuelles, auditives, gustatives, olfactives). Les autres se forment dans l'air (idées) et leur tissu est si délié qu'ils s'inscrivent dans tous les pores du corps.

Découvertes

A côté d'Asclépiade de Bithynie (v. 124-40 av. J.-C.), précurseur de la méthode anatomo-clinique, qui confirma l'origine cérébrale de l'épilepsie, et d'Arétée de Cappadoce (v. 120-v. 200), lequel effectua un classement nosologique des maladies

et localisa les lésions cérébrales du côté opposé aux symptômes de l'hémiplégie, Claude Galien (v.131-v.200) demeure sans conteste le personnage le plus emblématique de la médecine gréco-romaine post-hippocratique. Originaire de Pergame, un des grands centres orientaux de la civilisation hellénistique, il reçut le surnom de Galênos (doux en grec), étudia l'anatomie à Alexandrie, exerça à Pergame comme clinicien des gladiateurs, avant de se rendre à Rome en 163 où il acquit la célébrité par ses cures et son enseignement, ce qui lui permettra de devenir le médecin personnel de trois empereurs : Marc-Aurèle, Verus et Commode. Galien développa une philosophie vitaliste dotant le corps d'un *pneuma* (*spiritus* en latin) d'essence divine, un *souffle*, un *esprit* entretenant la vie du microcosme humain. Ce pneuma se subdivise en trois variétés : le *pneuma psychique* ou *esprit animal*, émané du cerveau et propagé par les nerfs; le *pneuma zootique* ou *esprit vital*, élaboré dans le cœur et empruntant la circulation artérielle (Galien ayant montré que les artères contiennent du sang et non de l'air) ; le pneuma physique ou esprit naturel, apportant les éléments nutritifs du foie au cœur. Grâce à l'air inspiré par les poumons, le pneuma vital sera allégé dans le ventricule cardiaque gauche et, par les carotides, montera dans le crâne où il se combinera dans les ventricules cérébraux antérieurs à l'air venu directement des narines cette fois, par le fameux pertuis de l'ethmoïde entre le nez et le cerveau, une aberration anatomique décrite par Galien mais qui persistera au point que de nos jours encore on appelle le coryza *rhume de cerveau*. C'est donc dans l'encéphale que le *pneuma zootique* sera affiné et transformé en un nouveau souffle, plus pur et plus subtil, tout ce qu'il y a même de plus subtil dans la matière : le *pneuma psychique* (cet esprit sera d'ailleurs à l'origine étymologique, quand on aura appris à distiller, de l'*esprit-de-vin* et des ï). Celui-ci imprègnera alors les nerfs, puis les muscles, en suivant un parcours quasi hydraulique, servant ainsi d'outil à l'âme pensante cérébrale dans l'exercice de la sensibilité et de la motricité. Parce que les hémisphères cérébraux étaient à l'époque considérés comme le cerveau sensible et le cervelet comme le cerveau moteur, il fallait trouver un organe qui puisse contrôler le passage du pneuma psychique entre les deux : Galien opta curieusement pour le vermis, une structure cérébelleuse, jusqu'à ce que Descartes lui préférât l'épiphyse (ou glande pinéale). Ce pneuma psychique donnera, sous sa forme latine de spiritus animalis, les esprits animaux si chers au cartésianisme.

L'hippocratisme ayant pris une rigidité doctrinale qui laissait peu de place aux variations, c'est le galénisme qui fixera la description et la définition de la mélancolie qui feront autorité au moins jusqu'au XVIIIe siècle. Cette affection est indéniablement due à l'atrabile et elle varie seulement en fonction du lieu où l'humeur s'épanche. D'abord, l'altération du sang qui en résulte peut se limiter au seul cerveau: « *Et cela arrive de deux façons, soit que l'humeur mélancolique s'y jette venant d'un autre lieu, soit qu'elle ait été engendrée sur place. Or, elle est engendrée par la chaleur considérable du lieu, laquelle brûle la bile jaune ou la partie la plus épaisse ou la plus noire du sang* ». Il peut arriver ensuite que l'atrabile se répande dans les veines de l'organisme entier. Le cerveau est alors atteint, mais seulement « *en conséquence de l'affection commune* ». La saignée du bras donne alors un sang très noir et très épais. Enfin, la maladie peut tirer son origine de l'estomac : « *Parfois aussi surviennent de violentes douleurs d'estomac qui se propagent dans le dos ; le*

malade vomit parfois des substances chaudes, acides, qui causent de l'agacement aux dents. De l'estomac enflé et rempli de bile noire, des vapeurs montent à l'encéphale, offusquent l'intelligence et produisent les symptômes mélancoliques ». Les organes digestifs supérieurs forment les *hypocondres*, d'où le terme d'hypocondrie désignant à l'origine une gêne locale faite de nausées, flatulences, pesanteur et digestion lente ; quand le cerveau est atteint par les exhalaisons et les vapeurs toxiques, cela provoque sentiment de mort, crainte, tristesse, bref ce qu'on appelle encore de nos jours des *idées noires*. Par engorgement du système porte, la rate est à son tour atteinte : c'est *l'opilation*, contre laquelle le *rire désopilant*, qui donc *dilate la rate*, favorisera l'évacuation de la bile noire accumulée. « *Les meilleurs médecins s'accordent à dire que ce ne sont pas seulement ces affections, mais encore l'épilepsie, qui se jettent sur la tête en dérivant de l'estomac* ». Galien insiste ici sur la théorie des vapeurs : ces fumées qui montent de l'estomac expliquent non seulement les accès mélancoliques, mais aussi les crises d'épilepsie. C'est d'ailleurs à lui que l'on est redevable du terme d'*aura* pour désigner une sensation respiratoire particulière qui est un symptôme avertisseur, un prodrome de la crise comitiale.

Si Galien a somme toute relativement peu innové, il a par contre beaucoup disséqué, classé et écrit. Il a ainsi donné un fonctionnement sommaire du cerveau et a laissé d'intéressants dessins de l'organisation cérébrale. Son évaluation des modifications comportementales résultant des blessures subies par les gladiateurs qu'il avait en charge de soigner a attiré son attention sur le rôle du système nerveux dans le contrôle du comportement. Pour le reste, ses découvertes sont donc venues des multiples dissections animales qu'il opéra essentiellement sur le singe, le porc et le bœuf, puisqu'autopsier un corps humain était à l'époque déjà tabouisé de par l'ordre de Rome, exception faite de quelques nécropsies, fort rares, tolérées pour des recherches d'ostéologie et sur la moelle épinière. Il distingua ainsi clairement les nerfs, les tendons et les ligaments musculaires jusque-là confondus et décrivit certaines structures cérébrales profondes comme le corps calleux qui relie les deux hémisphères, la glande pinéale (ou épiphyse) et les tubercules quadrijumeaux. Les nerfs sont des tubes creux dans lesquels circule le pneuma psychique: « *Les nerfs qui jouent (...) le rôle de conduits, apportent aux muscles des forces qu'ils tirent du cerveau comme d'une source* », précise-t-il dans son traité *Du mouvement des muscles*. C'est donc grâce au repérage du trajet des nerfs moteurs et sensitifs qu'il identifia deux aires fonctionnelles : le cerveau proprement dit et le cervelet. Il confirma ainsi sa première impression : en appuyant un doigt sur un encéphale fraîchement disséqué, le cervelet lui apparut plutôt ferme et le cerveau plutôt mou. Il en déduisit alors que le premier est le centre de la commande des muscles et le second le réceptacle des sensations, car, pour être mémorisées, ces dernières doivent nécessairement s'imprimer sur la partie la plus malléable. À partir d'un raisonnement faux, il aboutit donc à une conclusion générale globalement juste. Ce ne sera pas la première fois que cela arrive dans l'histoire des neurosciences. Il étudia aussi les récurrences nerveuses et les effets de la transsection de la moelle épinière sur l'animal vivant. Il pensait que les qualités attribuées aux sensations (notamment au toucher qu'il fit remonter jusqu'à la tête et non au cœur à l'instar d'Aristote) comme l'humide, le sec, le dur et le mou impliquent un jugement basé sur l'expérience et ne

correspondent pas à la seule sensation périphérique. Il associa l'impression du goût à la salive, utile pour garder la langue humide. Dans la vision et l'audition, ce serait de fines particules qui seraient reçues par les organes des sens correspondants. L'oreille externe n'est que purement ornementale, même si l'architecte romain Vitruve (Marcus Vitruvius Pollio : v. 90-25 ou 20 av. J.-C.) avait eu l'heureuse idée de comparer la transmission du son à une variation ondulatoire et d'établir une analogie entre la transmission dans l'air et dans l'eau, ce qui permettra de développer déjà des systèmes pour améliorer une audition défaillante avec des porte-voix et des prothèses dans l'oreille externe pour mieux diriger et capter le son. En revanche, Galien, ne croyant pas aux messages originaires des objets, avait une hypothèse centrale de la vision : les ventricules du cerveau relâcheraient des pneuma à travers les nerfs optiques jusqu'aux yeux, où, illuminés par la lumière du soleil, ils doteraient l'air d'un pouvoir spécial permettant la formation des images (couleur, brillance ou forme). On lui doit une bonne description de l'anatomie oculaire : les humeurs vitrée et aqueuse, la conjonctive, la cornée, la lentille cristalline et la rétine (filet en latin, à cause des filets sanguins de la choroïde). Les esprits animaux analyseraient ainsi la lumière à l'entrée de l'œil et dans la chambre antérieure, la lentille du cristallin représentant l'organe récepteur et la rétine, l'élément trophique grâce au réseau sanguin choroïdien qui l'entoure. Dans son *De usu partium*, il s'interroge sur « *les nerfs sensitifs qui descendent de l'encéphale aux yeux et qu'Hérophile nommait conduits parce qu'eux seuls représentent des canaux visibles (…). Pourquoi la nature n'a-t-elle pas fait partir du même point le principe de leur prolongement supérieur ? Pourquoi les ayant créés l'un à droite l'autre à gauche, au lieu de les conduire directement dans la région des yeux, a-t-elle commencé par les courber intérieurement, les rejoindre, unir leurs conduits, les amenant ensuite aux yeux, chacun selon la direction du prolongement supérieur ? En effet, loin de les transposer en dirigeant celui du côté droit sur l'œil gauche, et celui du côté gauche vers l'œil droit, elle a donné à ces nerfs une figure très semblable à un chiasma* ». On sait aujourd'hui que le chiasma optique permet la fusion binoculaire des images. Galien confirma enfin la présence du *rete mirabile*, déjà décrit par Hérophile à Alexandrie, mais en extrapola erronément l'existence à l'Homme: il s'agit d'un réseau de vaisseaux sanguins observable chez certains mammifères en lieu et place du cercle artériel de Willis identifié chez l'Homme au XVIIe siècle. La théorie du rete mirabile comme siège des fonctions mentales (l'éther ou humeur vitale y serait converti en principe spirituel) traversera allègrement les siècles, le déisme de Galien faisant admettre ses théories par l'Eglise qui les érigera en dogmes immuables, puisque le graveur Johan Eichmann (1500-1560) l'illustrera encore, alors même que la dissection de cerveaux humains au cours de la Renaissance a démontré l'absence d'un tel réseau. A vrai dire, il faudra carrément attendre le début du XIXe siècle pour voir attribuer un rôle majeur au cortex cérébral dans l'activité psychique.

Les civilisations asiatiques

Contexte

Contrairement à la dichotomie qui existe entre le corps et l'âme en Occident, le support charnel pour les Asiatiques n'est pas conçu comme de la matière mais plutôt comme une composante d'énergies subtiles. C'est encore plus net dans la pensée chinoise qui ne se fonde pas sur l'idée de la personne, pas plus que sur celle d'une substance ou d'un substrat préexistant. A l'opposé de la Grèce antique où les débuts de la philosophie furent polémiques et engagés dans des courants contradictoires, les Orientaux n'ont pas ressenti l'urgence d'élaborer des discours concurrents qu'ils soient philosophiques ou scientifiques. C'est une autre forme de la sagesse : au lieu de chercher à effacer les différences, le sage ici les épouse ; au lieu de discriminer, de séparer, d'écarter, il reste disponible dans une écoute spacieuse et sans exclusive ; au lieu de vouloir maîtriser le temps, il vit au gré de ce qui vient ; et on ne peut même pas l'accuser de relativisme, car il se garde bien d'affirmer que toutes les thèses se valent, ce qui serait encore se figer dans une position. En conséquence de quoi, la pensée asiatique traditionnelle s'est très peu intéressée à l'être et à la matière, a fort peu été attirée vers les couches profondes de la métaphysique et de la physique. Un autre point commun aux cultures orientales est que le corps humain est sacralisé dans la mort et ne peut être violé par aucune dissection.

Découvertes

Le système nerveux n'a fait l'objet d'aucune étude scientifique approfondie : les connaissances anatomiques sont entachées de confusion, d'imprécision et d'inexactitude. Au point que les civilisations asiatiques sont généralement ignorées par l'histoire des neurosciences. Ce qui n'empêchera pas les médecines indienne, tibétaine, chinoise et japonaise d'être efficaces. La médecine brahmanique, qui porte le nom d'*Ayurveda* (*connaissance de la vie*, parfois traduit par *le veda de la longue vie*), repose ainsi sur l'idée d'une unité du corps et de l'esprit, la maladie exprimant un déséquilibre des énergies fluides qui composent l'Homme, lequel n'est pas constitué par des organes à forme fixe, déterminée et localisable, mais seulement de trois éléments : le vat (systèmes nerveux et hormonal), le *pitt* (systèmes digestif et enzymatique) et le kaph (tous les fluides) ; et qu'il convient d'harmoniser par des techniques corporelles et psychosomatiques qui sont pratiquées, au côté des exercices spirituels, dans certaines formes de yoga.

La médecine chinoise (*Zhongi*) s'enracine dans le taoïsme, pour lequel le corps est un assemblage de souffles (*qi*) de diverses qualités : les souffles lourds, d'origine terrestre, composent les os et la chair, tandis que les souffles les plus subtils, de parenté céleste, constituent le sang et l'esprit. Dans le corps existent trois principaux centres d'énergie (*tan tien*), chacun canalisant l'énergie et la redistribuant à l'ensemble de l'organisme, mais ils n'ont pas tous la même capacité de production et de stockage: le cerveau ne fait circuler le *qi* que lorsqu'il est sollicité, c'est-à-dire quand il s'instruit ou se divertit, sinon il en produit très peu ; le cœur, quand il éprou-

ve de la joie, de la compassion ou de l'amour, démultiplie l'énergie qu'il reçoit et l'envoie à toutes les cellules du corps (être heureux ou amoureux accroît ainsi la vitalité); les organes sexuels, enfin, produisent de l'excitation et des orgasmes, donc une énergie très puissante et bénéfique, à condition de la guider vers l'organe défaillant.

La culture médicale japonaise, qui est d'ailleurs en grande partie calquée sur le Zhongi chinois, attribue à l'esprit et à ses différentes facultés leur siège dans les organes les plus variés sauf... dans le cerveau ! Celui-ci, tout comme la moelle épinière, est considéré comme analogue à la moelle osseuse. Il est fait ainsi complète ignorance du système nerveux dans les plus anciens recueils médicaux, comme le *Daidoruijyuho* (808) ou l'*Ishinho* (982). Cette ignorance du cerveau n'est pas surprenante, quand on sait qu'aux interdits du confucianisme adopté par le Japon au VIe siècle, se surajoutèrent les tabous du shintoïsme, consolidant ainsi l'aversion envers toute étude anatomique et toute pratique chirurgicale. Tout contact physique avec la mort ou la maladie était considéré comme souillant : d'ailleurs, ce n'est pas un hasard si le terme nippon de kega désigne tout aussi bien la blessure que l'impureté et la souillure.

■

Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration

Deuxième partie : du Moyen Âge aux Lumières

Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux

Le Moyen Âge

Contexte

Coincé entre une Antiquité idéalisée et une Renaissance qu'on voulut flamboyante, le Moyen Age, dont l'appellation ne naîtra en réalité qu'à la fin du XVIe siècle, a inévitablement désigné cette époque de l'Histoire comme une période transitoire, reniée sous les Lumières avant d'être glorifiée par le Romantisme. Grâce aux historiens modernes, on sait maintenant que malgré son polymorphisme, l'Occident médiéval était uni par une préoccupation majeure: la puissance du Dieu d'Abraham. Mais, enlisé pendant près d'un millénaire dans des pratiques magico-religieuses, ne retenant que les procès en sorcellerie et les bûchers (qui pourtant atteindront leur paroxysme entre la seconde moitié du XVIe siècle et 1738, date du dernier grand procès en Europe !), le Moyen Age fut taxé d'obscurantisme. Il n'en fut rien ! Jamais débats théologiques et philosophiques n'ont été aussi riches et passionnés (St Augustin, Abélard, Guillaume d'Ockham, St Thomas d'Aquin, Maître Eckhart pour les penseurs chrétiens ; Avicebron, Maïmonide, Gersonide pour les juifs ; Geber, Avicenne, Averroès, Sohrawardî, Ghazali pour les musulmans). Une intense activité intellectuelle germa dans ces Ecoles prestigieuses et Universités qui se développèrent à partir du XIIe siècle (Paris, Montpellier, Bologne, Reggio, Oxford) et dont le but était de créer des communautés (*universitas* en latin médiéval) productrices d'un savoir cumulatif (théologie, droit, sciences, médecine) à telle enseigne qu'à la fin du XVe siècle l'Europe comptera pas moins de 70 grands centres universitaires. Des encyclopédies embrassant l'ensemble des connaissances de chaque époque fleurirent alors, depuis les *Etymologies* ou *Livre de l'origine des choses* par Isidore de Séville (v.560-636), en passant par l'*Histoire*

➤ **Mots clés** : histoire des neurosciences, système nerveux, cerveau, crâne, méthodologie, médecine, chirurgie, culture, pensée, religion, philosophie

■ **Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux** : Maîtres de Conférences à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Laboratoire de neurobiologie et psychotraumatologie EA 4321

ecclésiastique de la nation anglaise (Historia ecclesiastica gentis Anglorum, 731) par le moine de Yarrow, Bède le Vénérable, ou le *De universo* du moine allemand Raban Maur le Bienheureux (v.776-856), jusqu'au *Magisterium divinale* (1223-40) de l'évêque de Paris, Guillaume d'Auvergne, ou encore le *Miroir historial (Speculum historiae ou majus* : 1247-59) par le moine dominicain Vincent de Beauvais. Tout cela sans compter avec le rôle prépondérant du clerc médiéval, parfaitement incarné par Jean Le Charlier dit Jean de Gerson (1363-1429) : auteur théologique (*La Montagne de Contemplation,* 1397) et ecclésiologique (*De potestate Ecclesiae*, 1417), il mènera une vie publique intense d'enseignant, de prédicateur et même de conciliateur entre écoles rivales, au point qu'il sera nommé grand Docteur de la Foi sous le titre de *Doctor Christianissimus*. On a souvent reproché à la scolastique d'avoir ramené toute pensée à des sentences et à des propositions analytiques, d'avoir réduit la réflexion à une dialectique formelle, d'avoir sclérosé à la longue certaines tendances de la pensée médiévale, mais ce serait oublier qu'elle a, en même temps, contribué à l'élaboration d'une analyse si rigoureuse que, sans elle, le cartésianisme n'aurait jamais vu le jour.

Bien sûr, il y a eu cette interdiction formelle de disséquer qui mit un frein aux études anatomiques sur le corps humain. Les raisons étaient multiples. Religieuses d'abord. En donnant une âme à l'individu, le monothéisme abrahamique apporta la base métaphysique à la notion de personne et le christianisme posa la question de son unité à partir de la longue dispute sur la Trinité : la personne humaine devint ainsi substance et mode, corps et âme, conscience et acte. L'attitude de l'Eglise à l'égard du corps a été beaucoup plus complexe qu'on ne l'a dit : d'un côté, un dédain suprême de l'enveloppe charnelle afin d'exalter l'âme (surtout dans l'ascèse monastique), de l'autre, un respect, quoique tardif (XIIe siècle), de ce même corps qui tenait d'une part à la doctrine de la résurrection, dont il était hors de question d'entraver le processus (le cadavre devenant dès lors sacré et sa dissection hautement profanatrice), et d'autre part au fait que la *Genèse* (qui a d'abord été occultée pendant tout le Haut Moyen Age) dotait Dieu d'une apparence anthropomorphique faisant l'Homme à Son image et à Sa ressemblance. La cause fut également à la fois philosophique et technique. Dès que le galénisme, mais surtout le péripatétisme, théories païennes en accord avec l'enseignement de l'Eglise, furent tolérés, ils ont été érigés en dogmes selon le sacro-saint principe du *Magister dixit* (« le Maître a dit »). Des procès seront d'ailleurs intentés aux intrépides, rares il est vrai, qui oseront contredire les paroles indiscutables. Or, Aristote ayant affirmé que le vivant est en acte, autrement dit en mouvement, à quoi bon dès lors ouvrir un corps mort ? *A fortiori* la tête, dont le cerveau, qui était toujours dédaigné par le cardiocentrisme hégémonique du Stagirite, d'autant plus que, les techniques d'extraction n'étant pas au point, il n'en résultait qu'une masse informe, gélatineuse, un *processus entéroïde* (semblant analogue aux intestins comme le suggèrent, par leur aspect, les circonvolutions cérébrales) fort peu digne de contenir l'entendement humain et encore bien moins l'âme. Enfin, la raison fut aussi à la fois éthique et prophylactique. Si le pape Boniface VIII édicta en février 1300 une bulle contre toute dissection anatomique entreprise sans l'autorisation expresse du Saint-Siège, cette décrétale servait avant tout à condamner d'une part cette coutume des croisés qui, ne voulant pas abandonner en terre étrangère les restes de leurs parents ou de leurs compagnons, les faisaient couper en morceaux et bouillir pour les renvoyer en France, évitant aux

cadavres une putréfaction rapidement rédhibitoire et dont on peut à la rigueur comprendre la nécessité; d'autre part, cette pratique balbutiante, mais pour le moins étrange, qui prendra forme justement au XIVe siècle et consistera à enterrer à part entrailles et cœur de trépassés qui, à défaut de mourir en odeur de sainteté, avaient connu de leur vivant la gloire et la ferveur populaire. Les étonnantes pompes funèbres du connétable Bertrand Du Guesclin, incarnation de toutes les vertus chevaleresques, sont, à ce titre, exemplaires. Décédé (de maladie) le 13 juillet 1380 au cours du siège de Châteauneuf-de-Randon en Auvergne, son corps est d'abord embaumé au Puy par des « physiciens » qui prélevèrent les entrailles pour les inhumer dans l'église des Jacobins de cette ville (aujourd'hui église Saint-Laurent). Le cortège funèbre gagna par la suite Montferrand, où on s'aperçut que l'embaumement avait été mal fait : il fallut alors se résoudre à faire bouillir les chairs pour les détacher des os et on les ensevelit dans l'église des Cordeliers. Repartant en direction de sa Bretagne natale, le convoi fut intercepté au Mans par un messager de Charles V qui transmit les ordres du roi : Du Guesclin devra être enterré à Saint-Denis, en la basilique royale, gage d'honneur suprême (une coutume qui persistera jusqu'à nos jours avec le Panthéon). Ce qui fut fait bien sûr, mais pas sans avoir au préalable prélevé enfin le cœur, qui sera placé dans l'église Saint-Sauveur de Dinan.

Découvertes

Les deux seules sciences médiévales proprement expérimentales ont été l'astrologie (d'où émergera l'astronomie) et l'alchimie (qui ouvrit les portes à la *chymie*), telles qu'elles s'incarnèrent chez Arnaud de Villeneuve (1235 ou 1245-1311 ou 1315), l'emblématique médecin polyglotte de l'Ecole de Montpellier, encore que, quand la théologie s'empara de la dialectique, les scholiastes prirent le pas sur les expérimentateurs. La conjonction de ces deux disciplines donnera néanmoins naissance à la spagyrie, une sorte de médecine astrologique ancêtre de la chimie pharmaceutique et qui aura son coryphée en Paracelse (Theophrastus Bombastus von Hohenheim : 1493-1541). Mais il y avait donc l'interdiction de la dissection, ce qui n'a pas empêché les Pères de l'Eglise d'émettre quelques hypothèses d'ordre neuroanatomique, sur un strict plan purement théorique: c'est ainsi qu'au IVe siècle, Némésius, évêque syrien d'Emèse, bientôt suivi par St Augustin (354-430), logea dans son *De natura hominis* (v. 390) l'imagination, la raison et la mémoire respectivement dans les ventricules antérieur, moyen et postérieur du cerveau, donnant donc le premier modèle de localisation cérébrale qui perdurera jusqu'au... XVIIe siècle ! Mais en 1163, le concile de Trente proclama : « *Ecclesia abhorret sanguinem* » (l'Eglise abhorre le sang), ce qui correspondait à une condamnation *de facto* de la médecine et surtout de la chirurgie. Jusqu'à l'empire carolingien, les quelques interventions chirurgicales qu'imposèrent les luttes et les guerres continuelles étaient laissées à des moines qui exerçaient simultanément, dans certaines limites toutefois, médecine et chirurgie, se réservant souvent le rôle de conseillers lors de grandes opérations. Puis, quand l'organisation municipale se fut consolidée sur les ruines de l'empire carolingien, les laïques secouèrent leurs chaînes et s'implantèrent au sein des populations récemment émancipées. Du IXe au XIIe siècle, il n'y eut cependant aucune limite légale ni dans l'étude, ni dans la pratique de l'art chirurgical. Devenait chirurgien qui voulait! Les médecins des universités dédaignant la chirurgie, ils la

laissèrent au « manœuvre » de la profession médicale : le barbier, que les autorités communales, à moins que ce ne fût l'instinct populaire, élevèrent au titre de chirurgiens de second ordre ou servants. Cependant, quand s'effectua la grande pérégrination armée des croisades, ce furent encore les frères hospitaliers qui organisèrent les saintes hôtelleries de Montpellier, Salerne, Malte et Alexandrie pour ne citer que les principales, agrandissant au passage l'ancienne réputation du monastère de Monte Cassino. Mais avec les croisades, coïncida une nouvelle vague d'émancipation de la démocratie européenne, les lettrés d'Occident se mirent à mépriser beaucoup moins qu'ils ne l'avaient fait auparavant la science musulmane, et certaines villes populeuses et suffisamment riches ne se contentèrent plus d'avoir de simples barbiers-chirurgiens. C'est en Italie d'abord que s'élevèrent ainsi les premières écoles d'enseignement médico-chirurgical : Salerne, Bologne, Padoue, Plaisance, Naples, Modène, Milan, Ferrare, Reggio, Parme et Pavie. Ensuite, ce fut au tour des universités espagnoles de Valence et de Tortose, il est vrai héritières orgueilleuses des académies mauresques, puis françaises de Paris, Montpellier et Toulouse, de dispenser l'art d'Esculape. C'est en 1278 que Jean Pitard (1238-1315), ancien médecin du roi St Louis, fonda à Paris le Collège Saint-Côme chargé de former les chirurgiens, dont la compagnie sera confirmée par Philippe le Bel en 1311. Guy (ou Gui) de Chauliac (1298-1368), médecin de Charles V de Valois et de Laure de Noves, l'égérie de Pétrarque, importa en France, dans sa *Chirurgia magna*, le modèle bolognais de bipartition de la médecine en *theorica et practica*, considérant que tout acte chirurgical supposât une connaissance approfondie de l'anatomie (ce qui n'allait pas de soi à l'époque !). Mais, irritée de voir ainsi la corporation des chirurgiens se constituer indépendante sans cesser d'empiéter sur le domaine de la médecine, malgré la tentative de réconciliation par Henri de Mondeville (1263-1320), le chirurgien de Philippe le Bel et de Louis le Hutin, la faculté de Paris renouvela en 1350 un ancien statut les assimilant aux apothicaires et herbiers, revenant du coup à son intolérance primitive. Les chirurgiens ne seront donc intégrés à l'Université qu'en 1436. En revanche, lassés de la latitude d'exercice laissée aux barbiers, ces mêmes chirurgiens obtinrent que l'ordonnance de 1372 limitât les droits des uns et des autres, si bien qu'en cette fin du XIVe siècle, trois classes bien séparées furent donc distinguées : les praticiens à robes rouges (mires ou physiciens), les chirurgiens à robes courtes et les barbiers portant épée (réservés surtout aux « pauvres gens »).

Il faudra attendre 1315 pour que le premier témoignage crédible d'une dissection publique ou semi-publique nous parvienne: c'est Mundini de Luzzi (ou Mondino dei Liucci : milieu du XIIIe siècle-1326) qui l'effectua à Bologne sur deux cadavres: le résultat de ses observations fut publié en 1478 à Pavie dans un ouvrage, *Anathomia Mundini*, accompagné de nombreuses gravures et qui restera un siècle durant l'unique guide des anatomistes, quoiqu'incomplet, car le chirurgien, de peur de commettre un péché mortel, n'avait pas osé ouvrir la tête ! Vers 1342, le pape d'Avignon Clément VI autorisa les autopsies publiques des pestiférés à Montpellier afin de découvrir l'origine de leur mal, la Peste noire faisant des ravages. En mai 1396, c'est au tour du roi Charles VI de permettre, par lettres-patentes, à la même faculté de Montpellier, que concurrençait l'Ecole de Salerne, de disséquer un cadavre par an, celui d'un condamné à mort. Ces opérations, bien que fort peu ragoûtantes, ont constitué, du fait de leur rareté, des événements très prisés,

suivis par des invités de marque et même par des femmes de la haute société. L'acquis scientifique que l'on pouvait tirer de ces investigations anatomiques paraissait tellement considérable, que l'on verra ainsi le médecin montpelliérain Guillaume Rondelet (1507-1566) ne pas hésiter à disséquer le cadavre de son propre fils ! Quant à la faculté de Paris, elle devra patienter jusqu'au XVIIe siècle pour être habilitée à procéder à deux dissections dans une année !

Avec l'idée de maladie-châtiment, toute pathologie sera considérée comme double : le mal qui est en nous et un facteur exogène. Si un mauvais esprit a réussi à nous posséder, ce n'est que grâce à nos péchés. La guérison s'obtient alors par l'expulsion du démon par des procédés physiques - comme l'excision de la pierre de folie qui illustre dans sa forme la plus pure la conception exogène de la maladie mentale ou des trépanations effectuées par les grands barbiers ou les « physiciens » - mais aussi au moyen de purifications religieuses passant par l'exorcisme (pour la conception endogène), les amulettes et l'astrologie. On retrouve cette approche psychosomatique de la maladie dans la médecine juive : l'être vivant humain étant un corps parlant, le souffle de vie (*rouah* en hébreu) passe par le souffle de la parole thérapeutique, dont la magie tisse ainsi le lien, à travers les siècles, avec la psychanalyse. Cette théologisation de la médecine n'épargna pas plus le médecin musulman (*tabib* en arabe, d'où le terme familier de toubib) qui admit aussi une origine psychogène de tous les maux physiques et mentaux : un individu étant malade quand il est délaissé par la grâce divine, remèdes et pénitence seront, ensemble, nécessaires à sa guérison. Du coup, la psychiatrie a rencontré maints contempteurs, plus intéressés par les explications démonologiques, et l'exploration des mystères du corps a été amplement retardée, à quelques exceptions près : Rhazès (entre 850 et 864-932), le médecin perse du prince Mansûr ibn-Ichak et le premier à découvrir certains rameaux du système nerveux du cou et de la tête ; Abulcasis (912-1013), médecin à la cour omeyyade de Cordoue, qui laissa dans son encyclopédie médicale *Al tasrif* (30 livres) un traité de chirurgie que consulteront encore Vésale et Ambroise Paré ; Avenzoar (v. 1090-1160), à la fois théologien, médecin et vizir, qui, dans son *Livre de la simplification ou facilitation (Taysir fi l-mudâwât*), étudia chaque maladie et chaque organe au point de vue sémiologique, étiologique et thérapeutique, notamment les pathologies du cerveau et du névraxe (migraine, tremblements, épilepsie, convulsions, comas et apoplexie) ; Averroès (1126-1198) enfin, philosophe, juriste et médecin à Cordoue, qui, dans son traité de médecine traduit en latin sous le nom de *Colliget*, annonça le premier que les images visuelles se forment sur la rétine et non pas au niveau de la lentille cristalline comme on l'admettait depuis l'Antiquité.

La Renaissance

Contexte

Le *renovatio studiorum*, le renouveau savant, est né en Italie au XIVe siècle pour gagner ensuite toute l'Europe, en infléchissant l'ordre des valeurs grâce à l'arrivée des lettrés byzantins fuyant la prise de Constantinople par les Turcs (1453),

aux traductions, notamment celles, redécouvertes, de Gérard de Crémone (v. 1114-v. 1187), des ouvrages arabes renouvelant le savoir sur les Anciens, lequel n'était donc plus l'apanage des scholiastes, à l'avènement de l'imprimerie, à l'émancipation des institutions laïques, au développement des moyens de communication, à l'élargissement de l'espace connu (c'est le temps des grandes découvertes, en Afrique et dans le Nouveau Monde), enfin à la pensée humaniste qui mit au premier plan le développement de l'être humain, tant au niveau individuel que social. Le XVIe siècle, surtout, fut rénovateur dans la mesure où la science se débarrassa peu à peu des doctrines usées du Moyen Age pour prendre une voie neuve, éclairée par le doute, fécondée par l'observation, qu'emprunteront incessamment les doctrines physico-chimiques : l'Europe était alors on ne peut mieux disposée pour accueillir les alchimistes et la spagyrie paracelsienne gouvernera ainsi sciences et médecine. De son côté, la science médicale ne pourra avancer que par le souci de l'expérimentation directe impliquant la dissection réelle d'êtres humains. Mais les interdits persistant, ce sera le plus souvent dans la clandestinité que s'effectueront les recherches.

Découvertes

La figure la plus illustre de l'artiste-savant aux dons multiformes et qui incarna le mieux cette boulimie de savoir qui caractérisa l'esprit de la Renaissance où un même homme pouvait embrasser tous les domaines de la connaissance, demeure sans aucun doute celle de Léonard de Vinci (1452-1519). Connaître l'Homme était son idéal et justifia, entre autres, ses recherches anatomiques : malgré l'interdiction des dissections par le pape Léon X, il en pratiqua, sans autre guide que lui-même, avec la méthode et la rigueur qui le caractérisaient, dans les hôpitaux de Santa Maria Nuova à Florence et de Santo Spiritu à Rome. *Le corpus vincianum* (ainsi nomme-t-on l'ensemble de l'œuvre de Léonard : peintures, dessins, carnets de notes, manuscrits) est là pour en témoigner (*fig. 2*). Il montra ainsi que les muscles obéissent aux nerfs qui prennent leur source dans la moelle épinière et constituent « *l'équipe conductrice de l'âme* », bien qu'il avertisse : « *Souvenez-vous que l'anatomie des nerfs ne situe pas davantage leurs ramifications qu'elle ne vous montre sur quels muscles ils s'embranchent, même si vous avez recours à la dissection dans l'eau courante ou l'eau de chaux (…). Sous l'effet de l'eau, les ramifications des nerfs adhèrent et se fondent – comme le lin ou le chanvre cardé pour être filé en écheveau – il devient impossible de repérer entre quels muscles se répartissent les nerfs, ou par quelle ramification* ». Malgré cette difficulté technique, il montra que les muscles n'actionnent pas les membres où ils sont situés, mais ceux où leurs tendons viennent s'attacher, et découvrit le jeu des muscles antagonistes, essentiel tant dans le mouvement que dans la stabilité du corps. Sur le plan ostéologique, la boîte crânienne a été remarquablement représentée en coupe et en perspective : les sinus osseux, frontaux et maxillaires, inconnus jusqu'alors, y sont correctement figurés ainsi que les méninges (pie-mère et dure-mère, mais pas l'arachnoïde) et toutes les paires de nerfs crâniens, à la curieuse exception près de la quatrième (nerf pathétique), sont situées en bonne place. Son triomphe posthume reste la première description correcte des ventricules cérébraux : mettant au profit ses talents de bronzier, il injecta de la cire dans les cavités ventriculaires pour mieux les décrire et les seules anomalies décelables sont dues à l'absence de fixation préalable qui entraîne des

2. Planche anatomique de Léonard de Vinci conservée à la Bibliothèque royale du château de Windsor.
Dessin étagé montrant l'emboîtement de l'encéphale dans le crâne avec son réseau vasculaire (*rete mirabile*) et le départ des nerfs crâniens (extrait de l'ouvrage Léonard de Vinci : dessins anatomiques. Texte du Dr Jean Mathé. Ed. Liber/Minerva, Fribourg et Genève, 1978)

déformations avant le moulage. On pense qu'il a réalisé aussi la première injection gazeuse intra-ventriculaire. Cet intérêt particulier pour les ventricules cérébraux s'explique par le fait que, le cerveau étant mis au centre de l'Homme, on ne pouvait placer les fonctions de l'esprit que dans les seules parties accessibles à l'observation, d'où le dessein de Léonard d'y fixer la localisation des principales fonctions de la pensée humaine : la mémoire, l'attention, la fantaisie, la connaissance, l'imagination, l'application et même le siège de l'âme qui se voit ainsi attribuer un territoire précis du plancher du troisième ventricule, lequel reçoit l'*esprit vital* monté du cœur avec la *chaleur vitale* par deux canaux para-médullaires imaginaires. La succession des opérations de l'esprit qui s'y ordonnent demeure des plus platoniciennes : les ventricules latéraux, sièges naturels du sensus communoe, reçoivent les résultats de l'analyse sensorielle, les images y sont élaborées puis transmises au ventricule médian, siège de la raison (*ratio*), de la pensée (*cognatio*) et du jugement (*oestimatio*) pour être enfin transférées et conservées (mémoire) dans le quatrième et dernier ventricule. Parce qu'il avait donc fixé dans les ventricules les centres de la perception, sans considérer le rôle déterminant des récepteurs sensoriels, Léonard n'accorda pas d'attention particulière ni à l'oreille, ni au goût (malgré une étude minutieuse de la bouche et de la langue) ni à l'olfaction. Par contre, l'œil a été pour la première fois spécialement étudié : en dépit d'un cristallin erronément central et rond, et malgré l'exacte évocation du chiasma optique, il ne le considérait que

comme un organe de convergence optique, fixant l'image, inversée, de l'objet sur la rétine, donc une simple chambre noire photographique (*camera oscura*), qu'il reconstitua d'ailleurs sur maquette, la perception visuelle restant pour lui purement cérébrale : « *Mais, attaché à la tradition, il ne peut pas concevoir que l'image, inversée sur la rétine, puisse être redressée par le cerveau* », souligne Daniel Arasse (1997). L'autodidacte a ainsi mis la main sur l'origine de la vue, mais c'est justement parce qu'il était autodidacte qu'il était aussi tenu par le modèle institutionnel d'explication du système nerveux dans ses rapports avec le cerveau. Dans le même ordre d'idée, le canal lacrymo-nasal, dont l'existence a été découverte ainsi pour la première fois, est interprété comme le véhicule des larmes montées du cœur, intouchable centre de l'affectivité, vers les yeux : « *Les larmes viennent du cœur et non du cerveau* ». Origine de la moelle épinière, le bulbe rachidien y a été enfin représenté et l'existence d'un centre respiratoire bulbaire évoquée, ainsi que celle du « *nœud vital* », première représentation des centres sous-corticaux et d'un automatisme subconscient et involontaire, indépendant du cerveau pensant. Mais si Léonard a acquis sa renommée de son vivant grâce à ses productions artistiques, malheureusement ses travaux d'anatomie n'eurent aucune conséquence historique : chercheur clandestin dont la problématique s'inscrivait dans un univers volontiers ésotérique, ils demeurèrent trop longtemps inédits et les médecins du XVIe siècle n'en eurent jamais connaissance. Tout restait donc à faire en la matière.

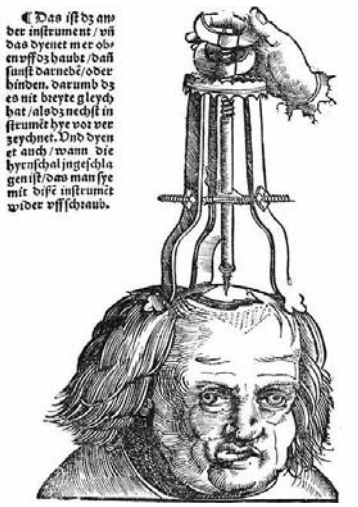
C'est pourquoi, traditionnellement, le mérite d'avoir fait entrer l'anatomie du corps humain dans la modernité revient à André Vésale (1514-1564). Après des études à Louvain et une épopée parisienne durant laquelle le jeune Flamand n'hésita pas à aller clandestinement au gibet de Montfaucon, de sinistre mémoire, disputer aux oiseaux de proie les restes des suppliciés qui restaient pendus jusqu'à ce que leurs chairs se décomposent, ou encore à s'introduire nuitamment dans le cimetière des Innocents pour y dérober quelques cadavres, il reçut son doctorat en 1537 à la prestigieuse université de Padoue, dite la *Docte*. Accusé d'avoir ouvert le corps d'un gentilhomme encore vivant, il dut faire un pèlerinage « forcé » en Terre Sainte, ce qui ne l'empêchera pas de finir comme médecin personnel de Charles-Quint et de Philippe II. C'est lors de son séjour padouan qu'il rédigea le *De humani corporis fabrica* (publié en 1543), un traité anatomique de 700 pages contenant 323 planches dessinées par le Hollandais Jan-Stefan von Calcar (ou van Kalcar ou Calcker, dit aussi Giovanni Calcar : 1499-1550), un élève du grand Titien, un mariage qui aboutit ainsi à la synthèse médico-artistique de la Renaissance : faire basculer l'anatomie, de purement philosophique qu'elle était jusqu'ici (en tant que savoir spéculatif, elle intéressait surtout le philosophe), en une véritable science d'observation. L'ambition était de placer devant les yeux de ceux qui étudient toutes les parties du corps en indiquant leur utilité et leur fonction, ce qui constitua une véritable rupture avec le passé et permit l'émergence d'un concept nouveau : celui du corps. Vésale devint ainsi le promoteur d'une véritable anthropologie par ses études crâniennes très avancées et rénova en particulier les coupes horizontales du cerveau, exécutées à l'origine par Galien, dont il eut le courage de dénoncer les erreurs (pas moins de 200 !), puisque le maître grec avait anatomisé, en lieu et place de la matière humaine, des animaux, notamment des singes, et avait extrapolé ses observations à l'Homme. Ce qui lui permit de mettre au jour de nombreuses composantes

cérébrales, jusqu'ici ignorées (le corps calleux qui relie les deux hémisphères du cerveau, le thalamus, principal centre sous-cortical…) et de distinguer la matière grise de la matière blanche.

Après Léonard de Vinci, dont l'œuvre anatomique eut donc une destinée radicalement différente de celle de Vésale, l'Italie continua à fournir son prestigieux contingent de neuroanatomistes : Alessandro Achillini (1463-1512) fit à Bologne la première description du nerf olfactif ; Jacopo Berengario (1460-1530) découvrit à Capri le marteau et l'enclume et Gian-Filippo Ingrassia (1510-1580), à Naples, l'étrier dans l'oreille moyenne ; Bartolomeo Eustacchi (ou Eustachio ou Eustachius en latin : 1520-1574) montra à Rome que les nerfs optiques terminent dans le thalamus (du grec *thalamos* : antichambre), une structure interne du cerveau et laissa son nom à la trompe tympanique qui relie l'oreille moyenne au nasopharynx, résolvant ainsi la présence d'air dans cette cavité auriculaire ; Gabriele Fallope (1523-1562), également connu en gynécologie (il décrivit les trompes utérines portant son nom, le clitoris et inventa le préservatif), découvrit à Padoue les nerfs moteurs de l'œil, le nerf pathétique, identifia des branches du nerf trijumeau et divisa l'oreille interne en cochlée (système auditif) et en vestibule ou labyrinthe (système vestibulaire) ; Constanzo Varolio (1543-1575), à Bologne encore, divisa le cerveau en trois proéminences (frontale, moyenne, occipitale) en fonction des ventricules internes et laissa son nom à une partie du tronc cérébral (le pont de Varole). Le médecin et botaniste bavarois Laurentius Gryllus (1484-1560) s'intéressa enfin au goût dans son De sapore dulci et amaro (publié à Prague en 1566). C'est un autre médecin, Charles Estienne (1503-1564), le frère du célèbre imprimeur Robert Estienne et le tuteur du poète Jean-Antoine de Baïf, qui fit connaître l'anatomie et ses avancées en France : on lui doit la description du canal central de la moelle épinière (canal de l'épendyme).

Mais l'antagonisme était loin de s'éteindre entre les médecins universitaires, s'interdisant toujours tout acte manuel, comme entrer dans le corps pour extraire ou couper, et les barbiers, dont la dénomination regroupe aussi bien les bateleurs ignorants que les empiriques sincères à la main souvent très sûre et aux connaissances, limitées mais sérieuses, acquises généralement sur les champs de bataille où il fallait opérer d'urgence les blessés de guerre. On distinguera alors les barbiers ou chirurgiens (du grec *kheir* : main ; et *ergon* : travail) à robe courte, ayant licence d'exercice, et les barbiers-chirurgiens ou chirurgiens à robe longue et bonnet (ressemblant ainsi aux médecins), formant confrérie. C'est l'un d'entre eux qui sera considéré comme le « père » de la chirurgie moderne : Ambroise Paré (v. 1509-1590), aide-chirurgien-barbier (1529), puis maître chirurgien (1536) à l'Hôtel-Dieu de Paris, dont les innovations (désarticulation du coude, ligature des artères lors d'une amputation, traitement des luxations, pansement des plaies avec un mélange de jaune d'œuf, d'huile de rosat et de térébenthine au lieu de la cruelle cautérisation à l'huile bouillante) améliorèrent considérablement les méthodes de ses confrères qui, à l'évidence, tenaient plus du supplice que de l'acte chirurgical. Paré est ainsi l'auteur, entre autres, d'une *Méthode curative des playes et fractures de la teste humaine* (1561-62), qui est connue comme le premier traité de technique neurochirurgicale, dans lequel il simplifia notamment les méthodes de trépanation et créa une instrumentation plus adaptée au traitement des lésions de la tête (certains instru-

ments, peu ou prou modifiés, sont toujours en usage aujourd'hui). La chirurgie du crâne est alors couramment pratiquée au moyen d'appareillages parfois sophistiqués (*fig. 3*) : Nicolo Massa (1489-1569), auteur d'un traité d'anatomie, *Liber introductorius anatomiae siue dissectionis corporis humani* (1536), et chirurgien à Venise, réussit ainsi en 1558 à rendre la parole à un jeune homme, Marcus Goro, en retirant des éclats d'os insérés dans son cerveau ; Wilhelm Fabry von Hilden (1560-1634), chirurgien à Berne, réalisa de nouveaux appareils avec force clous, vis et crochets.



3. Appareillage de trépanation constitué par un triploïde garni d'un bouton en forme de manche (extrait du *Feldtbuch der Wundartzney* de Hans von Gersdorff, Ed. H. Schott, Strasbourg, 1540).

Le Grand Siècle

Contexte

C'est également la dénomination de l'Age classique, qui, schématiquement, va de la naissance de Louis XIII le Juste (1601) à la mort de Louis XIV le Grand (1715), culminant avec le règne du Roi-Soleil: on l'appelle même le Siècle de Louis XIV, l'un des rares personnages, avec Périclès et César Auguste, auxquels l'Histoire a rattaché le nom à un siècle. Ce ne sera qu'explosion idéologique (avec la Fronde de 1648 à 1653), intellectuelle (avec l'Académie française fondée en 1635 et l'Académie des inscriptions et belles-lettres en 1663), scientifique (avec l'Académie des sciences en 1666 et l'Observatoire en 1667) et artistique (avec l'Académie royale de peinture et de sculpture en 1648 et l'Académie d'architecture en 1671, qui, avec l'Académie de musique et de danse, deviendront l'Académie des beaux-arts en 1816), sans oublier l'Académie de France fondée en 1666 et que Napoléon transfèrera en 1803 à Rome, dans ce qui deviendra la prestigieuse villa Médicis.

La science va alors connaître des bouleversements majeurs. D'une part, la découverte de la circulation pulmonaire (1553) par l'Espagnol Michel Servet (1511-1553), celle de la circulation sanguine (1628) par l'Anglais William Harvey (1578-1657) et, enfin, celle de la circulation du système lymphatique (1661) par le Français Jean Pecquet (1622-1674) finirent par ruiner définitivement le modèle humoral hippocratique et la théorie du foie sanguiformateur, même si ceux-ci continuèrent à être défendus par les « anticirculateurs » : une science nouvelle, la *physiologie* – le terme (du grec *physiologia* : étude de la nature) est apparu vers 1542-47 sous la plume du médecin français Jean Fernel (1497-1558) - se substitua ainsi

progressivement à l'antique mais persistante cosmologie des quatre humeurs. D'autre part, en opposition à la tradition hippocratique et galénique, les médecins (*iatros* en grec) se divisèrent en *iatrophysiciens* qui étudient le corps uniquement en fonction des règles de la physique, de la mécanique et de l'hydraulique, sous l'impulsion du mathématicien italien Giovanni Borelli (1608-1679) dont le *De motu animalium* (1680) présente la locomotion selon un aspect purement biomécanique avec forces de poussée, rotation du bassin et angles des membres (un avatar en fait de l'iatromécanisme de Sanctorius ou Sanctorio, un médecin padouan du siècle précédent qui a utilisé dans ses méthodes quantitatives en biologie, thermomètre, pulsomètre et balance) et en *iatrochimistes ou chimiatres*, qui assimilent les transformations de l'organisme, aussi bien sain que malade, à des opérations chimiques connues : une approche quantitative de la pathologie prématurée qui provoquera l'émergence du vitalisme avec notamment le médecin et chimiste allemand Georg Ernst Stahl (1660-1734), qui officiait à la cour de Weimar. C'est dans ce double contexte que va naître la discipline anatomique : de même qu'on peut ouvrir une montre pour examiner les différentes pièces qui la constituent, on peut ouvrir la boîte noire des corps vivants.

Découvertes

Le Grand Siècle est indissociable du cartésianisme. Expérimentateur boulimique et bricoleur infatigable, René Descartes (1596-1650) va imposer le rationalisme scientifique, une science qui doit unifier toutes les connaissances humaines, « *une science universelle de l'ordre et de la mesure* », dénommée *mathesis universalis* dans les *Règles pour la direction de l'esprit* (un ouvrage inachevé datant de 1628 et publié qu'en 1684), depuis les mathématiques à la biologie, en passant par la physique, mais en écartant curieusement la chimie naissante – on peut en dater l'émergence avec le *Tyrocynium chymicum* (ou *Débutant chimiste*, 1611) de Jean Béguin (v. 1550-v. 1635) – à laquelle il ne croyait pas. Ce qui a fait l'universalité du cartésianisme, c'est que la science repose désormais sur la distinction entre une connaissance et une opinion, entre une expérience et un préjugé. L'esprit cartésien est donc fait d'objectivité, d'expérience, d'universalité : c'est l'idée qu'une pensée n'est véritable que si elle est « universalisable », sinon c'est une croyance. Et s'il existe des degrés dans la chose pensante, l'inégalité ne vient pas des esprits eux-mêmes, mais de la façon dont ils ont été conduits, cultivés ou instruits.

C'est ainsi que dans le *Traité des passions de l'âme* (1645-49), les passions ne sont justement plus une maladie (leur sens premier dérive de *pâtir*). Il n'y a que six passions primitives : « *l'admiration, l'amour, la haine, le désir, la joie, la tristesse ; et* (…) *toutes les autres sont composées de quelques-unes de ces six ou bien en sont des espèces* ». Elles naissent à l'intérieur du cerveau, comme par exemple la joie, extension passionnée du plaisir : « *La joye est une agréable émotion de l'âme en laquelle consiste la jouissance qu'elle a du bien que les impressions du cerveau lui représentent comme sien* ». Sans le secours d'aucune pensée, par la correspondance et la sympathie merveilleuse des nerfs et des muscles, chaque passion, considérée comme une émotion toute corporelle, répand sur le visage un certain air qui lui est propre, est accompagnée du geste et du maintien naturel qui la caractérise et produit

dans tout le corps des mouvements convenables à ses besoins et proportionnés aux objets. C'est le triomphe de l'automatisme !

Puisqu'il n'y a dans le vivant rien de plus que dans l'automate, Descartes, dans son *Traité de l'Homme* (terminé en 1633 mais publié qu'après sa mort en 1664), n'élabora alors une physiologie plus imaginaire qu'expérimentale. Il y décrit le corps comme une machine hydraulique parcourue de tuyaux, dans lesquels s'effectue une constante circulation de fluides : les vaisseaux sanguins bien sûr - la découverte de la circulation sanguine par William Harvey confortant son machinisme - mais également les nerfs où passent des esprits animaux, petits corps agités allant du cerveau vers les membres provoquant leur mouvement en gonflant les terminaisons nerveuses intérieures aux muscles : « *Les esprits animaux (…) sont comme un vent très subtil, ou plutôt une flamme très pure et très vive, qui montant (…) du cœur dans le cerveau (…) donne le mouvement à tous mes membres* ». La seconde édition (1677) contient des schémas anatomiques qui illustrent une organisation hiérarchique des fonctions et de l'architecture cérébrales dans une tentative de mise en relation des fonctions du corps humain avec son organisation microscopique : sa représentation d'ensemble du cerveau humain montre ainsi les « *petits filets nerveux* (se projetant sur les parois des) *concavitez* » du cerveau, mais l'écorce cérébrale est toutefois laissée en blanc car elle se situe du côté de l'âme ; dans son innervation des muscles moteurs de l'œil, il est distingué sans ambiguïté l'organisation anatomique (muscle, tuyau ou petit nerf), l'activité qui circule dans le réseau (« *les esprit animaux qui y entrent ou en sortent* ») et le comportement, en l'occurrence le mouvement de l'œil : « *Lorsque les esprits animaux entrent dedans, ils font que tout le corps du muscle s'enfle et s'accourcit, et ainsi qu'il tire l'œil auquel il est attaché* » ; enfin, la notion de synapse y est même anticipée, avec des « *petites peaux ou valvules* » qui entraînent une polarité dans le transfert des signaux du nerf au muscle. Mais, en imaginant que les esprits animaux, libérés par chaque image rétinienne, parviennent par le biais de fibres ordonnées au niveau des murs latéraux des ventricules où ils formeraient deux cartographies monoculaires du monde visuel, Descartes fonda ainsi le principe de l'homoncule, l'homme à l'intérieur de l'homme, qui capterait les essences vitales coulant au travers des pores nerveux et relirait les cartes d'activation nerveuse du cerveau en lui donnant sens : une représentation tridimensionnelle du monde visuel qui sera confirmée par l'électrophysiologie moderne avec les travaux chez le Chat et le Singe de David Hubel et Tornsten Wiesel, lauréats du Prix Nobel de médecine en 1981 !

Dès 1664, le naturaliste hollandais Jan Swammerdam (1637-1680) mit au point la préparation nerf sciatique-muscle gastrocnémien de grenouille pour tester cette hypothèse hydraulique : le flux de matière étant orienté vers les muscles, ceux-ci devraient, en gonflant, augmenter de volume au cours de la contraction. Or, ce ne fut pas le cas (par contre, il montra, un siècle avant Galvani, la contraction du muscle par excitation mécanique du nerf avec un fil d'argent sur un support de cuivre) : le modèle mécanique fut ainsi invalidé et lui succèdera un modèle électrique. Et si son compatriote Herman Boerhaave (1668-1738), médecin et chimiste, plus connu pour ses travaux de botanique, fut le premier à décrire le fonctionnement d'une jonction neuromusculaire, ce fut toujours dans un cadre cartésien où le nerf moteur « s'écou-

le » directement dans la substance musculaire, entraînant le passage des esprits animaux responsables de la contraction du muscle. Mais pour Descartes, si la machine humaine est ainsi juste un peu plus fine et compliquée que les mécaniques de l'horloge, par contre du fait même de l'unicité et de l'indivisibilité de l'âme, il fallut bien alors trouver « *une certaine petite glande située environ au milieu de la substance de ce cerveau* » où aboutissent les esprits animaux « *agités par la chaleur du feu qui brûle continuellement dans* (le) *cœur, et qui n'a point d'autre nature que tous les feux qui sont dans les corps animés* » et dont les mouvements font sentir à l'âme les passions. Ce fut la glande pinéale (*conarium*), une structure cérébrale qui n'est pas double (elle est « *une et non divisée en deux parties semblables* »), qui va servir de *sensorium commune* - même si Claude Perrault (1613-1688), le frère de Charles, l'illustre auteur des *Contes du temps passé*, opposa une âme, non point circonscrite à une toute petite partie du cerveau, mais présente à chaque point du corps pour pouvoir lire directement à fleur de peau, au cœur de l'oreille interne ou sur la rétine, les impressions tactiles, auditives ou visuelles, afin que le fonctionnement mécanique du corps demeure étroitement encadré par des opérations de nature spirituelle ; et même si plus tard le chirurgien attitré de Louis XV, François Gigot de la Peyronie (1678-1747) préfèrera le corps calleux à la glande pinéale, *un sensorium commune* donc, où machine corporelle et âme raisonnable pussent nourrir quelques liens, donc un point de jonction entre les deux substances, la « *res cogitans* » et la « *res extensa* », et surtout pas, comme il a été trop souvent écrit à tort, le siège de l'âme, car Descartes a toujours récusé l'idée de l'existence d'un support physiologique de l'esprit.

Descartes établissait ainsi une nette distinction entre la réalité décrite par la science et celle, plus spirituelle, de l'âme échappant au cadre de l'investigation scientifique. Ce dualisme distinguant l'esprit conscient de la matière inconsciente avait certes son utilité : il permettait de soustraire les travaux scientifiques à l'autorité de l'Eglise d'une part, et d'autre part, se prêtait à une approche mathématique de la biologie et des êtres vivants. Malgré cet habile subterfuge, l'Eglise mettra en 1662 à l'index les œuvres de Descartes au motif que sa méthode déductive logique, allant du simple au complexe, consacrait la fin de la foi aveugle en la toute-puissance de Dieu et en l'existence d'un autre monde (l'au-delà) : parfaitement consciente de ce danger, l'Eglise signait alors son divorce entre elle et la méthode scientifique, rationnelle et expérimentale. Il n'en demeure pas moins que le dualisme cartésien finira par devenir un obstacle au XIXe siècle car il aura pour effet de placer la conscience et d'autres phénomènes mentaux à l'extérieur de la réalité physique ordinaire, donc hors du domaine des sciences de la nature.

Si les dissections de cadavres finirent par être de plus en plus tolérées, elles n'en demeuraient pas moins difficiles et dangereuses : il n'était pas rare en effet de contracter une septicémie souvent fatale au contact de dépouilles mal conservées, faute d'antisepsie. C'est ainsi que les cires anatomiques virent le jour, grâce à l'abbé sicilien Gaetano Zumbo (1656-1701), qui est à l'origine de la fameuse collection du Museo della Specola de Florence. Il avait acquis son renom à la cour de Côme II de Médicis à Florence grâce à ses petits théâtres en cire aux titres évocateurs (*La Peste, Le Triomphe du temps, La Corruption des corps, La Syphilis*) et à la thématique hallucinante de la décomposition des cadavres. S'associant à Gênes

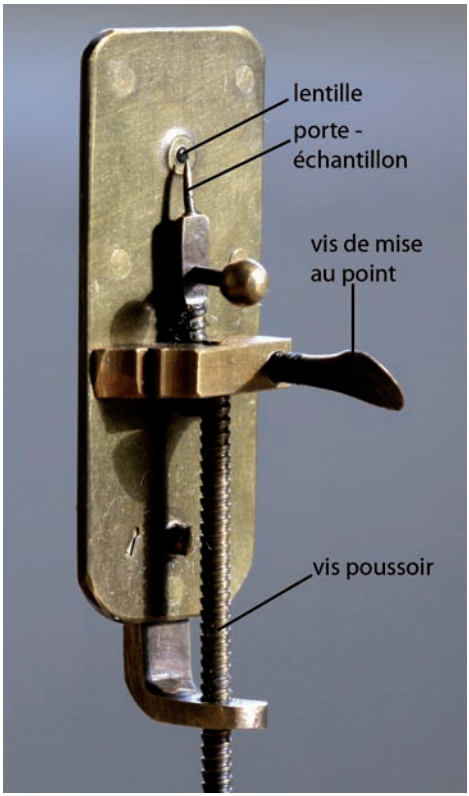
avec un chirurgien français, Guillaume Desnoues (1650-1735), il fabriqua les premières têtes anatomiques, moulées directement sur le cadavre, et où la cire remplaçait avantageusement les chairs qui ne tardaient pas à entrer en décomposition, évitant ainsi leur puanteur insoutenable. La réalité intérieure du corps humain ne cessa alors de se dévoiler : planches de myologie et d'ostéologie, écorchés, céroplastique qui économisent donc la matière naturelle et permettent la promotion du faire-savoir anatomique, à tel point qu'observation du modèle vivant, étude de l'écorché, référence à l'antique feront désormais parties du parcours obligé de la formation artistique. Les médecins n'eurent plus qu'à emboîter leurs pas dans les traces de ces artistes-prosecteurs ou de ces sculpteurs-anatomistes, aujourd'hui les méconnus, sinon les oubliés, de l'histoire aussi bien de l'art que de la médecine.

L'anatomie du cerveau, telle qu'on peut l'établir encore à l'œil nu, commença ainsi à être connue, particulièrement son organisation interne. Le Français Raymond Vieussens (1641-1715) dans sa *Neurographia universalis* (1685) et l'Anglais Thomas Willis (1621-1675) dans son *De cerebri anatome qui accessit nervosum descriptio et usus* (1664), le tout premier livre consacré exclusivement au cerveau humain, dont il décrivit le réseau artériel, et contenant des illustrations du célèbre architecte de Saint-Paul de Londres, Christopher Wren, enrichirent ainsi la morphologie cérébrale de deux substances : la cendrée (qui deviendra plus tard la substance grise) et la blanche. Willis précisa même que les esprits animaux se formeraient dans la substance cendrée et que, par un processus de distillation, ils seraient stockés dans la substance blanche, véritable réservoir distributeur ; les nerfs transporteraient alors cet esprit subtil qui, en se combinant au sang des muscles, produirait une sorte d'explosion. Dans son *De anima brutorum* (1672), il considéra que le cerveau est à l'origine première de facultés comme l'imagination, la mémoire et le désir, que le cervelet régit la sensibilité, la motricité involontaire et les instincts (mais aussi les battements cardiaques, la respiration et la digestion !) et les corps striés, les sensations ; mais l'âme rationnelle ne peut contempler les images que dans le corps calleux. Il en était enfin fini définitivement du cardiocentrisme aristotélicien, encore défendu par William Harvey, au profit d'un cérébrocentrisme triomphant : « *Le cœur n'est pas un organe si noble que l'on dit ; il s'agit d'un simple muscle, fait de chair et de tendons* ». Les circonvolutions cérébrales, qui, avec leur aspect de boyaux intestinaux, n'avaient pas attiré jusque-là l'attention, ont enfin été étudiées par le médecin danois Franciscus de la Boë dit François Sylvius (1614-1672), dont l'histoire de la neuroanatomie a retenu le nom avec la scissure de Sylvius.

Si l'otologie progressa avec Joseph Guichard Duverney (1648-1730) et son *Traité de l'organe de l'ouïe* (1683), une référence durant deux siècles, le système moteur cérébral ne fut pas en reste. En 1658, dans une monographie sur l'apoplexie, le médecin suisse Johan Jacob Wepfer (1620-1695) démontra que les paralysies induites par des atteintes du cerveau sont controlatérales au siège lésionnel. En 1709, Domenico Mistichelli (1675-1715), professeur de médecine à Pise, décrivit le croisement des voies motrices au niveau de la décussation des pyramides. En 1710, ce système pyramidal, fondamental dans la motricité volontaire, est également identifié par le naturaliste et ophtalmologiste français François Pourfour du Petit dit Petit le médecin (1664-1741) : ce médecin militaire expérimenta aussi sur des chiens en

faisant, à l'aide d'un petit couteau, des ablations de certaines parties du cerveau.

Enfin, l'introduction dans les recherches du microscope (*fig. 4*), ce « *kaléidoscope du minuscule* » comme le nommera Gaston Bachelard, mis au point par le Hollandais Antonie (ou Anton) van Leeuwenhoek (1632-1723), un drapier de Delft qui perfectionna la « *loupe* » (une lentille plan convexe grossissant 160 fois et décrite par Robert Hooke en 1665 dans son *Micrographia*), permit de découvrir les bacilles (1673), les protozoaires et les globules du sang (1675), les spermatozoïdes (1677), les bactéries (1683) et également la structure fibrillaire du nerf, mettant donc un terme à la vieille théorie galénique du nerf creux. Ce qui fera dire au philosophe Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), le fondateur de la monadologie, une doctrine qui s'inspire peu ou prou de l'atomisme démocritéen : « *Les microscopes nous font voir dans le moindre atome un monde nouveau de créatures innumérables qui servent surtout à connaître la structure des corps dont nous avons besoin* ». Cette découverte majeure va ainsi signer le début de la *microbiologie* (le terme dérivé du grec *mikrobios* : « dont la vie est courte » est plus tardif) avec le Français Pierre Borel (1620-1689), de *l'adénographie* (du grec *adên* : glande ; donc l'étude des sécrétions pituitaires, biliaires, salivaires et pancréatiques) par le Hollandais Reinier De Graaf (1641-1673), de la *médecine occupationnelle* (ancêtre de la médecine du travail) avec l'Italien Bernardino Ramazzini (1633-1714), et enfin de



4. Microscope de Leeuwenhoek (exemplaire conservé à Delft)
Au moins 350 microscopes de ce type ont été réalisés dont deux avec deux lentilles et un avec trois lentilles. Le grossissement peut être jusqu'à 200 fois.

l'*histologie* (étude descriptive des tissus vivants : racine *hist*) par son compatriote Marcello Malpighi (1628-1694). Ce dernier, qui fut le médecin attitré du pape Innocent XIII, a ainsi pu observer la structure fine de la substance grise, qui se trouve en surface du cerveau et du cervelet, et de la substance blanche, localisée plus en profondeur. Il y découvrit aussi des « *glandes* », dont on saura plus tard qu'elles n'étaient que des artéfacts dus aux aberrations optiques des premiers microscopes, mais aussi provenant des méthodes d'observation pour le moins curieuses : quand on fait cuire un cerveau, sa substance s'élève en molécules semblables à des glandes ; le cerveau pétrifié présente une surface couverte de petits globules ; des ouvertures qu'on fait au crâne, il sort une matière « *fongueuse* »… bref, tout porte à croire que la substance cérébrale est « *glanduleuse* ». Mais la petitesse de ces glandes comme la nature « *muqueuse* » et transparente du cerveau ont pu être dérobées au microscope. Malpighi reprît le concept de cellules (du latin *cellula* : petite chambre) de Robert Hooke, que celui-ci avait observées au microscope sur une coupe de liège mais les considérait dépourvues de paroi, comme une sorte d'écume, et les interpréta cette fois-ci comme des utricules juxtaposés les uns aux autres, préfigurant ainsi la théorie cellulaire en vigueur dans les années 1820.

L'Age des Lumières

Contexte

Ce qu'on a nommé le Temps ou l'Age des Lumières couvre une période historique allant de 1715 à 1789, qui se situe dans la droite ligne de l'Europe humaniste. Cette époque ne s'identifie donc pas exactement avec le XVIIIe siècle et prend fin avec la Révolution française qui, en imposant à l'Europe une guerre généralisée, mit fin aux espérances qu'elle avait suscitées. Le concept de Lumières s'applique essentiellement à une réalité d'ordre idéologique, un mouvement de pensée qui va s'exprimer par le biais d'une « philosophie », non pas dans son acception traditionnelle telle qu'on l'entend avec la doctrine scolastique ou la métaphysique classique, mais plutôt au sens d'une volonté d'élucider systématiquement la réalité humaine sous les formes les plus diverses de son affirmation et qui va rapidement s'européaniser : *Aufklärung* pour les Allemands, *Enlightenment* pour les Anglais, *Iluminismo* pour les Italiens, *Siglo de las Luces* pour les Espagnols, *Seculo das Luzes* pour les Portugais, au point qu'à partir des années 1740-50, son idéologie sera adoptée par un certain nombre de souverains « éclairés » tels que le roi de Prusse Frédéric II le Grand ou l'Unique (1712-1786), l'impératrice de Russie Catherine II la Grande (1729-1796), l'empereur germanique Joseph II (1741-1790), le roi de Pologne Stanislas II Auguste Poniatowski (1732-1798), le roi d'Espagne Charles III de Bourbon (1716-1788), qui fut aussi roi des Deux-Siciles sous le nom de Charles VII, et Sebastiao José de Carvalho e Melo, marquis de Pombal (1699-1782), qui, au nom du roi Joseph Ier, gouverna le Portugal en despote éclairé. Une idéologie que résumera parfaitement Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, marquis de Condorcet (1743-1794) dans son *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain* (1795) : « *À mesure que les lumières s'accroissent, les méthodes d'instrui-*

re se perfectionnent. L'esprit humain semble s'agrandir et les limites se reculent ». Les faibles ouvertures qui s'étaient esquissées au siècle précédent dans les arts et les sciences sur le plan de la connaissance commencèrent ainsi à s'élargir vraiment avec le scepticisme, la pensée spéculative et le combat pour la tolérance.

Une des nombreuses caractéristiques des Lumières fut la mode de l'anatomie triomphante : au Jardin du Roy, étudiants, médecins, chirurgiens, français ou étrangers, mais également la société élégante de la cour et de la capitale, accouraient en masse au cours et aux expositions, au point qu'il fallut distribuer des billets d'accès et refuser du monde. Car l'anatomie fascinait alors, comme toute chose longtemps interdite. En témoignent le succès rencontré par les « momies » humaines anatomisées d'Honoré de Fragonard (1732-1799), le cousin de Jean-Honoré, le fameux peintre grassois : dépouillées de leur peau, disséquées, elles révèlent l'intérieur du corps humain (par exemple le lugubre mais superbe *Cavalier de l'Apocalypse* aux chairs éclatées, dressé sur sa monture spectrale en plein galop, et conservé à l'Ecole vétérinaire de Maisons-Alfort), mais on ignore toujours la technique utilisée car l'anatomiste n'a pas laissé la plus petite note. Le triomphe anatomique fut enfin couronné par les cabinets de cire des particuliers, sortes de musées privés exposant les « merveilles » du corps humain. Cet engouement ne se démentira pas jusqu'à la fin du XIXe siècle. Cette formidable avancée de l'étude anatomique va d'ailleurs faire progressivement glisser l'image de la mort de la sphère du sacré à celle de la médecine. En effet, l'Eglise finit par abandonner la partie matérielle et méprisable de l'Homme, son corps, métaphoriquement séparé de l'âme, aux médecins et aux chirurgiens. La maladie-châtiment infligée en punition de tel ou tel péché et les pratiques hospitalières fondées sur la primauté de la cure des âmes sur celle des corps cédèrent ainsi peu à peu le pas. En témoignent la *Nosologia methodica* (1763) de François Boissier de Sauvages de Lacroix (1706-1767), un médecin botaniste promoteur de la phytothérapie moderne, ou encore le *Traité des maladies chirurgicales* (1780) de Pierre Joseph Desault (1744-1795), qui enseigna de nouveau l'anatomie sur des cadavres et non plus sur des planches murales ou des pièces de cire. Le sentiment même de la mort, jusque-là concentré dans la réalité historique de son heure, se dilua désormais dans la masse entière de la vie, perdant donc de son intensité : à la notion de mort succèdera celle de mortalité.

Découvertes

Le statut social et scientifique du chirurgien se transforma avec notamment la création en France, sous l'impulsion du lithotomiste (chirurgien de la taille de la pierre) Georges Mareschal (1658-1736), de l'Académie royale de chirurgie (1731). Son rôle ? C'est elle qui fit, par exemple, connaître en 1752 la technique révolutionnaire (extraction du cristallin hors de l'œil pour éviter une infection postopératoire) de Jacques Daviel (1693-1762), le chirurgien oculiste de Louis XV, qui améliora donc l'opération de la cataracte telle qu'elle avait été codifiée en 1728 par l'Anglais William Cheselden (1688-1752). En confrontant les constatations cliniques et les réalités anatomiques des lésions, l'Italien Giambattista Morgani (1682-1771) sera considéré comme le fondateur de l'anatomopathologie moderne. Mais il faudra attendre encore un siècle pour que la neurochirurgie puisse s'individualiser à partir

des progrès de la neurologie, qui lui a longtemps fourni les seuls moyens de diagnostic d'une lésion localisée du système nerveux, et de la chirurgie générale, qui a permis les premiers actes opératoires dans des conditions techniques satisfaisantes.

Entre-temps, une évolution terminologique se fit sentir dans le domaine de la physiologie nerveuse avec d'abord le médecin et naturaliste suisse Albrecht von Haller (1708-1777) : outre le concept d'irritabilité propre des fibres musculaires (la fibre étant l'élément fondamental à la fois des muscles et des nerfs), à dissocier de l'aptitude du muscle à répondre à un stimulus nerveux (l'idée d'une telle dualité ayant été déjà formulée par Galien) et la responsabilité de l'écorce (cortex) cérébrale dans la sensibilité qu'il démontra par des expériences d'excitations et de lésions, il introduisit la locution de *vis nervosa*. Puis, l'anatomiste tchèque Jiri Georg Prochàska (1749-1820), dans son *De structura nervorum* (1784) où il admettait encore que le sensorium commune ne pouvait être défini comme le siège de l'intellect et de la volonté, parla de *Nerven Kraft*, par analogie avec la vis *attractiva* de Newton, amenant ainsi le vitalisme ; tout cela pour aboutir enfin à l'expression, toujours usitée, d'*influx nerveux*, dont l'antécédent *influxus (action de s'écouler dans*) paraît une métaphore encore bien galénique ! Même si aucun perfectionnement n'a été apporté au microscope, Felice Abate Fontana (1730-1805), abbé, médecin, physiologiste, naturaliste, professeur de philosophie à Pise et directeur du Muséum d'histoire naturelle de Florence, démontra dans son *De Irritabilitatis legibus* (1774) l'induction de contractions musculaires par une faible stimulation électrique et décrivit une fibre nerveuse pleine, entourée par une gaine, devenant ainsi le promoteur de la théorie fibrillaire du nerf. Après une visite rendue au neurologue anglais William Cumberland Cruisbank (1745-1800), connu pour ses expériences de section des nerfs vagues sur les chiens, Fontana, en les reproduisant, observa au microscope le nerf régénéré après un laps de temps.

Les découvertes sur le cerveau ne se firent pas au fil d'un long fleuve tranquille. Les travaux du Suédois Emmanuel Swedenborg (1688-1772) ont été ainsi totalement ignorés : pourtant, avant de devenir le spiritualiste mystique que l'on sait, il écrivit entre 1738 et 1744 plusieurs livres sur le cerveau où il situa en avant les centres moteurs, les muscles des extrémités étant contrôlés par les circonvolutions frontales supérieures, ceux du milieu du corps par les moyennes et ceux de la tête et du cou par les inférieures. Félix Vicq d'Azyr (1748-1794), professeur d'anatomie au Jardin du Roy et secrétaire de la Société royale de médecine (fondée en 1776) jusqu'à son abolition par décret révolutionnaire, disait dans son Discours préliminaire à son enseignement que, de tous les organes, le cerveau est celui dont il est le plus nécessaire d'étudier la structure, « *car ses dispositions principales sont constamment en relation avec la sensibilité générale, avec l'énergie ou la faiblesse de l'instinct, avec la véhémence des appétits, la force des affections, l'extension des facultés intellectuelles : en un mot, avec tout ce que nous appelons le moral* ». De fait, il présenta à l'Académie royale des Sciences entre 1781 et 1783 pas moins de quatre mémoires respectivement consacrés à la structure du cerveau, du cervelet, du bulbe rachidien et de la moelle épinière. Son *Traité d'anatomie et de physiologie* (1786) est une sorte de synthèse méthodologique : il y décrivait la dissection anatomique, mais limitée dans le fait qu'elle ne peut manipuler que des corps froids et inanimés,

les expériences sur l'être vivant, l'observation des phénomènes relatifs à différentes fonctions organiques et la comparaison entre organes sains et malades ; il y imagina aussi la meilleure méthode pour sectionner le cerveau par des coupes horizontales. Mais il excluait de vouloir arriver à une connaissance des mécanismes des fonctions intellectuelles, car il partageait cette réticence avec tous les médecins de son époque. Ce qui n'était toutefois pas le cas de Samuel-Thomas Soemmerring (1755-1830), professeur d'anatomie et de physiologie à Mayence, mais aussi anthropologue, paléontologue, physicien et même franc-maçon intéressé aux pratiques alchimiques et ésotériques. En tant que neuroanatomiste, il avait démontré à partir de 1786 le croisement des fibres des nerfs optiques, compara les relations entre cerveau et moelle épinière et proposa de nommer *hypophyse* l'ancienne *glande pituitaire*. Mais, séduit par les sirènes de la nouvelle *Naturphilosophie*, il publia Über das *Organ der Seele* (1796), où il fit du cerveau l'organe de l'âme, comme le titre de son ouvrage l'indique : il voulait donc localiser le *sensorium commune* dans le liquide céphalorachidien intra-ventriculaire, puisque c'était, croyait-il, la paroi des ventricules cérébraux qui recevait les terminaisons nerveuses. Scandale et controverse ! Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), qui visiblement ne s'intéressait pas qu'au *Sturm und Drang (Tempête et élan,* le mouvement littéraire des Lumières allemandes), lui écrivit que le titre de son livre était une erreur et que mieux valait se cantonner à des terminaisons nerveuses sans déranger pour autant l'âme. En effet, la voir confinée à un tout petit espace cérébral, lui, pour qui l'âme pénétrait toute la nature vivante, c'était une idée qui ne devait assurément pas complaire au Sage de Weimar. C'est également dans une lettre que le philosophe du criticisme, Emmanuel Kant (1724-1804), jugea insoluble la question du siège de l'âme : dans la mesure où elle est perçue par un sens interne, elle ne peut donc pas s'attribuer un espace corporel précis qu'elle ne pourrait percevoir que par des sens externes, à moins qu'elle se situât hors d'elle-même ! Le Maître de Königsberg avait, quant à lui, une vision plus dynamique du liquide cérébrospinal, lequel se serait organisé lui-même en influençant les terminaisons nerveuses : ce serait donc des forces chimiques qui agiraient, bien plus que la simple disposition des organes. On n'a jamais su si Kant avait eu connaissance des travaux sur la composition chimique du cerveau réalisés en 1793 par l'anatomo-physiologiste Antoine-François de Fourcroy (1755-1809).

A Parme, Francesco Gennari (1752-1797) travailla sur le cortex cérébral et ses affections pathologiques, mais il croyait toujours en une étiologie somatique de la maladie mentale, confirmée par le médecin piémontais Vincenzo Malacarne (1744-1816) qui autopsia trois cas de crétinisme goitreux entre 1775 et 1782, chez lesquels il démontra des malformations morphologiques du crâne. Spécialiste du cervelet, dont il considéra la structure lamellaire analogue à une batterie de Volta (1776), il se lança dans l'anatomie comparée du cerveau, ce qui aboutit à son *Encefalotomia nuova universale* (1780), sous l'influence épistolaire évidente du naturaliste et philosophe genevois Charles Bonnet (1720-1793). Dans sa *Palingénésie philosophique* (1769), ce dernier admettait en effet le cerveau comme un « assemblage » d'organes différents formés par les entrelacements d'un nombre prodigieux de fibres, de nerfs et de vaisseaux. Une vue conforme à la théorie des emboîtements de l'homoncule qu'il avait développée à propos du transfert d'individu à individu selon la doctrine du préformationnisme : le corps est entièrement présent dans un spermatozoïde et

contient lui-même des spermatozoïdes. Le développement est ainsi une sorte d'agrandissement au sens photographique. Cette construction, théologiquement satisfaisante, sera pulvérisée par l'observation microscopique qui mettra en évidence, non pas un agrandissement, mais une suite de duplications cellulaires. Quand Bonnet voulut hasarder l'idée que l'âme était située à l'endroit de l'origine des nerfs, le désaccord se fit alors immédiatement : Malacarne rétorqua que les nerfs ne semblent pas converger vers une seule zone, mais bien se disperser au fur et à mesure qu'ils s'enfoncent dans la masse cérébrale. A Edimbourg, le médecin Robert Whytt (1714-1766) professa une conception pour le moins originale des maladies, faisant tout reposer sur la sensibilité des nerfs : « l'âme sentante », qui commande aux actions et réactions de l'organisme, serait présente dans tout le système nerveux puisque des mouvements automatiques se produisent même chez la grenouille décapitée. Whytt montra ainsi le rôle de la moelle épinière dont la destruction par une aiguille supprime toute action réflexe.

Enfin, qui dit cerveau dit crâne, et ce dernier fut également un objet de recherche privilégié. Le premier à s'y intéresser particulièrement, fondant ainsi une longue tradition, fut Jean-Marie Daubenton (1716-1800) dans son *Mémoire sur les différences de la situation du grand trou occipital dans l'homme et les animaux*, présenté à l'Académie des Sciences en 1764, où il recherchait un critère sûr de la distinction entre bipèdes et quadrupèdes mettant en évidence l'unicité de l'Homme au sein de la nature. Il lança ainsi la craniométrie comparée qu'illustra d'abord le Hollandais Peter (ou Petrus) Camper (1722-1789). Ce professeur d'anatomie et de chirurgie au célèbre Athenaeum d'Amsterdam établit en 1768 une échelle de perfectionnement fondée sur l'angle facial formé par les lignes droites unissant la racine du nez avec le trou occipital d'une part, et le sommet des incisives avec l'os frontal d'autre part, échelle qui démarre ainsi avec le cercopithèque (45°), en passant par l'orang-outan (58°), puis le Nègre (70°), le Kalmouk et l'Européen (80°), pour culminer dans… la statuaire grecque (90°). De son côté, le naturaliste allemand Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840) exposait dans sa thèse *De generis humani varietate nativa*, soutenue à l'Université de Göttingen, la correspondance entre la hiérarchie de l'intelligence et une échelle morphologique basée sur cinq types fondamentaux d'humains : le caucasique, le mongolique, l'éthiopique, l'américain et le malais. Il devint dès lors courant d'affirmer l'existence d'une relation nécessaire entre le physique et le moral, d'où, à partir de 1775, les travaux de physiognomonie du Zurichois Johann Caspar Lavater (1741-1801), sur lesquels se baseront tant d'artistes pour exécuter des portraits les plus expressifs possible. Dans ses *Physionomische Fragmente zur Beförderung der Menschenkenntniss und Menschenliebe (Art de connaître les hommes par la physionomie*, 1775-78), qui exercera une profonde influence sur Goethe, le faisant ainsi considéré comme un préromantique, il étudia les rapports entre les traits du visage et le caractère et les sentiments de l'âme. Ce n'était en fait qu'une déduction de sa métaphysique religieuse : en effet, pour Lavater, diacre (1769) puis pasteur (1786) de l'église Saint-Pierre de Zurich, le but ultime de la physiognomonie est de restituer dans toute sa pureté l'image de Dieu empreinte en l'Homme mais altérée par le péché. En réalité, il n'avait fait que remettre au goût du jour l'antique physiognomonie héritée de la tradition hippocrato-galénique et qui avait déjà donné naissance à partir du XVIe siècle à toutes sortes de disciplines connexes pseudo-scientifiques, comme la

chirologie (étude du langage naturel des mains), la métoscopie (science des rides et des plis du front), la céphaloscopie (étude des caractères par la forme de la tête et du crâne), la pathognomonie (étude des signes des émotions et de la passion sur les corps) et donneront aux XIXe et XXe siècles la phrénologie, la morpho-psychologie, la psychognomie, voire les recherches sur la communication non verbale.

La longue réflexion sur l'individu, que nous avons approchée à travers le seul prisme des neurosciences, entamée à partir de la moitié du XVIe siècle, et de laquelle a émergé une conscience civile européenne indépendante de la religion, a ainsi formé le terreau sur lequel écloront la Révolution et son cortège d'innovations, aussi bien sur le plan culturel que scientifique. Cette période sera traitée dans une troisième partie à venir, qui sera justement sous-titrée « le temps des révolutions ».

> *Dans notre science actuelle (…) se retrouve, qu'on le veuille ou non, l'influence de toutes les démarches et les vicissitudes de la pensée scientifique dans le passé.*
> Louis Victor, prince de Broglie (1892-1987)

Bibliographie

Ces références bibliographiques sont communes aux deux parties de l'article.

ARASSE D. - *Léonard de Vinci, le rythme du monde* - Hazan, Vanves, 1997.

BARDINET T. - *Les papyrus médicaux de l'Egypte pharaonique* - Fayard, Paris, 1995.

CASTIGLIONI A. - *A history of Medicine* - A.A. Knopf, New York, 1947.

CHENNAKESAVAN S. - *Concepts of Indian Philosophy* - Orient Longman, New Delhi, 1976.

CLARAC F. & TERNAUX J.-P - *Encyclopédie historique des neurosciences : du neurone à l'émergence de la pensée* - De Boeck, Bruxelles, 2008.

DAGOGNET F. - *Philosophie biologique* - Presses Universitaires de France, Paris, 1954.

DELACOMPTEE J.M. - *Ambroise Paré, la main savante* - Gallimard, Paris, 2007.

FUJIKAWA Y. - *Japanese medicine* - P.B. Hoeber, New York, 1934.

GOHAU G. - *Biologie et biologistes* - Magnard, Paris, 1978.

GRMEK M.D. - *Le chaudron de Médée : l'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité* - Les Empêcheurs de penser en rond, Synthélabo, Paris, 1997.

GUENANCIA P. - *L'intelligence du sensible : essai sur le dualisme cartésien* - Gallimard, Paris, 1998.

HUNKE S. - *Le soleil d'Allah brille sur l'Occident : notre héritage arabe* - Albin Michel, Paris, 1963.

JACQUARD D. - *Le milieu médical en France du XIIe au XVe siècle* - Droz, Genève, 1981.

JANSSENS P. - *Paleopathology : diseases and injuries of prehistoric man* - Humanities Press, New York, 1970.

JULLIEN F. - *Un sage est sans idée* - Seuil, Paris, 1998.

KOBAYASHI M. - *La philosophie naturelle de Descartes* - Vrin, Paris, 1993.

KRAMER S.N. - *L'histoire commence à Sumer* - Flammarion, Paris, 1956.

LANTERI-LAURA G. - *Le cerveau* - Seghers, Paris, 1987.

MARCIREAU J. - *Rites étranges dans le monde* - Robert Laffont, Paris, 1974.

MATHE J. - *Léonard de Vinci: dessins anatomiques* - Liber/Minerva, Fribourg et Genève, 1978.

MOURRE M. - *Dictionnaire d'histoire universelle* (2 vol.) - Editions Universitaires, Paris, 1968.

PIGEAUD J. - *La maladie de l'âme : étude sur la relation de l'âme et du corps dans la tradition médico-philosophique antique* - Les Belles Lettres, Paris, 1989.

RASHED R. (Sous la dir. de) - *Histoire des sciences arabes* (3 vol.) - Seuil, Paris, 1997.

RAWLS W. - *Medicine : an illustrated history* - H.N. Abrams, New York, 1978.

SAHAKIAN W.S. - *History and systems of psychology* - J. Wiley & sons, New York, 1975.

SCHILTZ V. - *Les Scythes et les nomades des steppes* - Gallimard, Paris, 1994.

SINGER C. - *A short history of anatomy from the Greeks to Harvey* - Dover, New York, 1957.

STAROBINSKI J. - *Histoire du traitement de la mélancolie des origines à 1900* - Geigy, Bâle, 1960.

THUILLIER P. - *Magie et technoscience : la grande mutation du Moyen Age* - La Recherche, 21 : 862-873, 1990.

TUBIANA M. - *Les chemins d'Esculape* - Flammarion, Paris, 1995.

UNSCHULD P.U. - *Medicine in China : a history of ideas* - University of California Press, Berkeley & Los Angeles, 1985.

VINCENT J.-D. - *Biologie des Passions* - Odile Jacob/Seuil, Paris, 1986.

WIT H.C.D. de - *Qu'est ce que la vie ? Une biographie de la biologie* - Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1996.

ZIMMERMAN L.M. & VEITH I. - *Great ideas in the history of surgery* - Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1961.

■

Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration

Troisième partie : le temps des révolutions

Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux

Le temps des révolutions

Sitôt l'on parle de révolution, la première image qui nous vient à l'esprit est celle de la Révolution française de 1789 : ce sera donc le point de départ de ce troisième volet sur l'histoire de la découverte du cerveau. Bien sûr, à côté des révolutions géopolitiques, sociales et nationalistes qui s'ensuivront un peu de partout dans le monde, cette période historique va être aussi marquée par d'autres types de révolutions dans bien d'autres domaines. La révolution se fera ainsi d'abord sur le plan éthique et conceptuel, quand la médiévale et très chrétienne théologie naturelle où l'Homme tenait une place à part au centre de la Création, déjà ébranlée par la révolution cosmologique copernicienne et galiléenne, sera complètement déstabilisée par le positivisme et le darwinisme, les religions dites révélées apparaissant alors comme des impostures, l'Homme n'ayant pas été créé à l'image de Dieu et sa descendance pouvant être établie depuis le règne animal. Le contrecoup sera moral, quand la notion de mérite qui, sous l'Ancien Régime, était lié à l'honneur, celui de la naissance, et fut le point d'organisation de toute une hiérarchie sociale en fonction de la lignée, verra son sens changer par la République pour devenir un savoir-faire, en particulier dans les métiers techniques et scientifiques, à finalité militaire ou industrielle. La révolution sera donc également technologique (bateau à vapeur, locomotive, photographie, télégraphe, ampoule électrique, téléphone, moteur à explosion…) et industrielle (houillères et charbonnages, gaz de ville, centrales hydro-électriques, mécanisation, techniques du fer, du ciment précontraint, du béton armé, industries textiles, métallurgiques, chimiques, du pétrole…). Elle s'accompagnera d'une révolution financière et économique (manufactures, grandes banques, sociétés anonymes, économie marchande en tant que fondement du capitalisme…).

➤ **Mots clés** : histoire des neurosciences, système nerveux, cerveau, crâne, méthodologie, médecine, chirurgie, culture, pensée, religion, philosophie

■ **Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux** : Maîtres de Conférences à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Laboratoire de neurobiologie et psychotraumatologie EA 4321, 28 Av. Valrose 06108 Nice Cedex 2

La révolution sera enfin culturelle, artistique et littéraire (romantisme, lyrisme, orientalisme, symbolisme…), rompant avec la rigueur du cartésianisme en révélant des manières inédites de voir, de sentir, de ressentir, d'exprimer, de représenter, de souffrir et d'aimer. Bien entendu, elle sera scientifique et médicale avec notamment ce que Michel Foucault (1926-1984) a appelé la naissance de la clinique, à savoir l'affirmation d'une nouvelle épistémologie médicale fondée sur la méthode anatomo-clinique.

Contexte

Avec la Révolution française, les rapports entre la science et la société se modifièrent. Influencé par l'Encyclopédie, Antoine Quatremère de Quincy (1755-1849) proposa en 1791 l'édification d'un Muséum national unique, sorte de temple de la science, de lycée universel, assurant « la liaison des sciences, des lettres et des arts. » Le 26 mai 1791, l'Assemblée nationale désigna donc le Louvre comme ce lieu de réunion. Mais, bloqué par le manque de moyens matériels, ce beau projet encyclopédique sera abandonné par les décrets de la Convention du 10 juin et du 27 juillet 1793 qui, l'un, créera le Muséum d'histoire naturelle sur l'emplacement du Jardin du Roy, l'autre, ordonnera l'ouverture du musée du Louvre. Avec la création, sur proposition de l'abbé conventionnel Henri Grégoire (1750-1831) du Conservatoire des arts et métiers le 10 octobre 1794, le clivage sera entériné et les arts libéraux ne cohabiteront définitivement plus avec les arts mécaniques. En 1795, les plus grands savants vont s'atteler à un exercice unique : transmettre directement les connaissances nées des dernières avancées de la science aux futurs enseignants de la République qui sont conviés à venir suivre leurs cours à Paris, dans l'amphithéâtre du Muséum national d'histoire naturelle. Le Comité d'instruction publique de la Convention Nationale créera dans cette optique l'éphémère (elle ne durera que trois mois) Ecole normale de l'An III, dont la première aura lieu le 1er pluviôse (20 janvier 1795). Il n'empêche que pour la première fois dans l'Histoire, le savoir et les connaissances scientifiques devront en principe alimenter directement l'instruction publique, des jeunes gens devront être formés à partir des connaissances nouvelles, transmises par les savants eux-mêmes et non sur la base d'un savoir ancien ânonné de manière pédante par des clercs, et que ces savants ne devront plus être exclusivement des chercheurs et des écrivains, mais également des enseignants au plus haut niveau. Vont alors y participer entre autres les chimistes Louis Bernard, baron Guyton de Morveau (1737-1816), Claude, comte Berthollet (1748-1822) et Antoine François, comte de Fourcroy (1755-1809), les astronomes et mathématiciens Louis, comte Lagrange (1736-1813), Gaspard Monge, comte de Péluse (1746-1818), et Pierre Simon, marquis de Laplace (1749-1827).

Pourtant, rien n'avait semblé augurer favorablement de la situation de la science dans le nouveau contexte révolutionnaire. Les académies royales (*voir Biologie-Géologie 3-2010, p.176*) dont l'Académie des sciences avaient été dissoutes le 8 août 1793 et quelques-uns de leurs membres éminents furent exécutés ou proscrits : l'astronome Jean Sylvain Bailly (1736-1793), le chimiste Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), le médecin anatomiste Félix Vicq d'Azyr (1748-1794), le

géodésien Dominique, comte de Cassini (1748-1845), sans oublier bien sûr le mathématicien, philosophe et économiste Marie Jean Antoine Caritat, marquis de Condorcet (1743-1794) qui préféra s'empoisonner. Or, c'est bien la Convention thermidorienne qui a finalement institutionnalisé et consolidé les transformations de la vie publique imposant la transmission généralisée du savoir scientifique. L'article 298 de la Constitution du 5 fructidor de l'an III (22 août 1795) décrète en effet : « Il y a pour toute la République un Institut national chargé de recueillir les découvertes, de perfectionner les arts et les sciences. » Le 3 brumaire de l'an IV (25 octobre 1795) est promulguée une loi organisant un Institut national des sciences et des arts pour « perfectionner les sciences et les arts par les recherches non interrompues, par la publication des découvertes, par la correspondance avec les sociétés savantes et étrangères, suivre les travaux scientifiques et littéraires qui auront pour objet l'utilité générale et la gloire de la République. » Le futur Institut de France était donc né. Il comportait à l'origine 144 membres répartis en 3 classes divisées en sections : sciences physiques et mathématiques (mathématiques, arts mécaniques, astronomie, physique expérimentale, chimie, histoire naturelle et minéralogie, botanique et physique végétale, anatomie et zoologie, médecine et chirurgie, économie rurale et art vétérinaire), sciences morales et politiques (analyse des sensations et des idées, morale, science sociale, économie politique, histoire, géographie), enfin, littérature et beaux-arts (grammaire, langues anciennes, poésie, antiquités et monuments, peinture, sculpture, architecture, musique et déclamation). Le 11 mars 1794 était également créée par la Convention l'Ecole centrale des travaux publics, qui sera nommée Ecole polytechnique le 1er septembre 1795 : elle sera animée par deux membres du Comité de salut public, Claude Antoine Prieur de la Côte-d'Or (1763-1832) et Lazare Carnot (1753-1823), également mathématicien, tout comme l'était Gaspard Monge, le troisième fondateur.

C'est en réformant les études et la profession médicales que la Révolution va permettre la naissance de la clinique moderne, appuyée sur l'anatomo-pathologie. En 1793, elle imposa des études pratiques et cliniques communes aux chirurgiens et aux médecins, mettant ainsi fin à leur antagonisme séculaire (*voir Biologie-Géologie, 3-2010, p.169-70 et 175*). En 1794, elle créa trois écoles de santé et un cursus national, établissant une nouvelle hiérarchie entre médecins et officiers de santé qui devront exercer dans les campagnes et les quartiers pauvres des villes. L'hôpital, qu'elle n'a pas inventé (il existait déjà un hôpital général où on entassait indistinctement indigents, fous et vieillards, et l'Hôtel-Dieu, plus spécialisé mais qui ne voyait ni professeurs ni étudiants), va devenir le premier lieu d'exercice et d'enseignement. L'étalon de la connaissance du corps malade sera dès lors l'anatomie pathologique, que Jean Nicolas, baron Corvisart (1755-1821), premier médecin de Leurs Majestés Impériales, définira dans sa Nouvelle méthode pour reconnaître les maladies internes de la poitrine (1808) comme « la science ayant pour but la connaissance des altérations visibles produites par la maladie sur les organes du corps humain. L'ouverture des cadavres est le seul moyen permettant d'obtenir ce savoir. » L'autopsie, jusque-là occasionnelle et pratiquée pour la démonstration anatomique (*voir Biologie-Géologie, 3-2010, p.170-71*), devint alors le complément indispensable de l'analyse du corps malade, objet d'expertise. Le couplage entre la salle d'hôpital et l'amphithéâtre d'anatomie où l'on examine et dissèque les

cadavres est ainsi l'un des acquis révolutionnaires les plus fondamentaux. Corvisart introduisit une distinction radicale entre les symptômes (par exemple la fièvre, la sudation), indications souvent trompeuses, les signes cliniques (douleurs localisées), clés du diagnostic et du pronostic, et les lésions organiques constatées à l'autopsie, les seules à servir de base à une identification sûre des pathologies. Ces dernières seront comparées, inventoriées, classées en types dans une histoire naturelle des formes morbides. Marie François Xavier Bichat (1771-1802), nommé en 1801 médecin expectant du Grand Hospice de l'humanité (l'Hôtel-Dieu) insista cependant dans son Anatomie générale (1801) sur le fait que le véritable lieu de la maladie n'est pas l'organe en particulier mais les éléments qui entrent dans sa structure : les tissus. Leur étude systématique au cours des autopsies et des expérimentations a amené Bichat à en distinguer dans son Traité des membranes (1800) pas moins de 21 sortes, dont les différentes combinaisons forment les organes du corps. Il aidera ainsi à la création de l'histologie, la science des tissus vivants, et rejettera avec force ces « théories plus souvent nées dans le cabinet qu'au lit du malade. » La voie à toutes les études histologiques du tissu nerveux venait d'être tracée. Si on leur conjoint le nom de Pierre Charles Alexandre Louis (1787-1872), le promoteur de la méthode numérique, ces pionniers se sont ainsi révélés emblématiques de cette médecine hospitalière révolutionnaire qui a fait du corps humain un objet de muséographie clinique.

La physiologie va, de son côté, prendre son envol au point, en s'introduisant dans la médecine de laboratoire, expérimentale et micrographique, de surclasser la médecine hospitalière dès la seconde moitié du XIXe siècle. Rappelons que le terme de physiologie était apparu dans la préface du traité De naturali parte medicinae (1542) de Jean Fernel (1497-1558) qui, dans sa compilation Universa Medicina (1554), en définit l'objet comme « la nature de l'homme sain, de toutes ses forces et de toutes ses fonctions » ; une conception encore bien métaphysique, il faut en convenir. Et que dans son monumental Elementa physiologiae corporis humani (8 volumes parus de 1757 à 1766), le médecin suisse Albrecht von Haller (1708-1777) questionnait : « La physiologie n'est-elle pas l'anatomie en mouvement ? » Nous sommes toujours dans la tradition galénique de la déduction anatomique : les fonctions d'un organe peuvent être déduites du seul examen de sa structure. Et il accrédita la croyance en l'existence de propriétés physiologiques sans rapport évident avec des structures anatomiques manifestes dans De partibus corporis humani sensibilibus et irritabilibus (1753), où il montra la spécificité de l'irritabilité du tissu musculaire, qu'il sépara de la sensibilité des nerfs : « Cette force est absolument différente de toute autre propriété des corps connue jusqu'à présent, et l'observation en est nouvelle. Elle ne dépend ni du poids, ni de l'attraction, ni de l'élasticité puisqu'elle est propre à la fibre molle et qu'elle disparaît dans la fibre qui se durcit. » En faisant intervenir une troisième force vitale, la contractilité du tissu conjonctif, il fondait ainsi la physiologie neuro-musculaire. Il demeure cependant le premier, dans son étude Primae linae physiologiae (1747), à traiter la physiologie indépendamment de toute considération médicale. Et Antoine Lavoisier d'expliquer à son tour la fonction respiratoire sans que la structure anatomique poumon-cœur ne soit invoquée. Autrement dit, le corps vivant n'apparaît plus désormais à l'image d'un atelier de mécanicien, comme une machine, dans la tradition cartésienne (*voir*

Biologie-Géologie, 3-2010, p.178), mais plutôt à celle d'un laboratoire de chimiste, comme un creuset. Le point de vue fonctionnel venait donc de l'emporter sur le point de vue structural.

Jusqu'au XVIIe siècle, l'histoire naturelle de la psychè a surtout consisté en la nomenclature des doctrines concernant l'âme. C'est alors que la psychologie commença à prendre place auprès de la philosophie avec Christian August, baron de Wolf (ou Wolff : 1679-1754), professeur à Halle (Prusse) et à Marbourg (Hesse), qui parla le premier de psychologia empirica (1732), autrement dit de psychologie expérimentale. A la fin du siècle des Lumières, la question éternelle de savoir où s'opère l'union de l'âme et du corps, avait peu à peu perdu de son intérêt (*voir Biologie-Géologie, 3-2010, p.185*). D'abord on connaît de plus en plus de structures cérébrales médianes et sans doublet autres que la glande pinéale, si chère au cœur de Descartes (corps calleux, commissure blanche antérieure, septum pellucidum…), si bien que l'unicité morphologique perdue, les candidatures putatives au siège de l'âme devinrent redondantes. Il n'y a qu'à lire, pour s'en convaincre, le Traité d'anatomie et de physiologie (1786) du chef de file des iatrochimistes, l'infortuné Félix Vicq d'Azyr, ou encore l'ouvrage au titre ô combien évocateur du médecin anatomiste (on lui doit la découverte de la macula de la rétine humaine et de la substance noire du cerveau), anthropologiste et paléontologiste allemand Samuel Thomas von Soemmering (ou Sömmerring : 1755-1830) : Über der Organ der Seele (A propos de l'organe de l'âme, 1796). Demeurait encore la question de comment localiser les diverses relations bijectives entre les facultés de l'âme et les structures cérébrales. Si les spiritualistes objectaient que la fragmentation obvie des facultés de l'âme s'appuie sur autre chose que le sens commun, les sensualistes, à l'instar du Suisse Charles Bonnet (1720-1792) dans son Essai de psychologie (1770), proposaient d'aller d'un dehors bien connu vers un dedans plus douteux, c'est-à-dire de partir des organes des sens pour remonter jusqu'aux structures cérébrales.

Le véritable promoteur de la psychologie a été William James (1842-1910), à la fois psychologue et philosophe américain, qui en révolutionna l'enseignement, encore fondé en Amérique sur des principes théologiques, en faisant de cette discipline à part entière une science de laboratoire. Frère aîné d'Henry James (1843-1916), le célèbre romancier connu pour la finesse de ses analyses psychologiques et de son style, William s'orienta d'abord vers les sciences (chimie, anatomie) et la médecine avant de participer à une exploration naturaliste du bassin de l'Amazone. Nommé en 1872 professeur de physiologie à Harvard, il ne se contenta pas d'enseigner que cette discipline, mais aussi la biologie, la philosophie et la psychologie, étudiant leurs rapports réciproques. Il considéra ainsi la psychologie, non plus traditionnellement comme une science des phénomènes mentaux, mais comme une nouvelle science fondée sur la physiologie. Il créa le premier laboratoire américain de psychologie expérimentale, qu'il présentera comme une science pleinement indépendante dans son manuel The Principles of Psychology (Les principes de la psychologie, 1890) et fonda l'American Society for Psychical Research. En 1884, dans un article provocateur, *What is an emotion ?*, il proposa que l'émotion naisse ainsi de la réaction physiologique qu'elle induit : « Le sens commun dit, le fait de perdre notre fortune, nous désole et nous fait pleurer ; la rencontre d'un ours, nous affole et

nous fait courir ; l'insulte d'un rival nous rend furieux et nous choque. L'hypothèse que nous proposons dit que cet ordre de présentation est incorrect. Le raisonnement est opposé, nous sommes désolés parce que nous pleurons, coléreux parce que nous frappons, apeurés parce que nous tremblons (…). Sans ces différents états du corps induits par la sensation, les conséquences seraient purement perceptives dans leurs formes et dans leurs caractéristiques mais sans aucune émotion. » Confortée par un pamphlet de 1885 du médecin danois Carl Georg Lange (1834-1900), cette théorie des émotions porte désormais leur nom (théorie périphérique de James-Lange). En philosophie, James fit également preuve d'originalité en y introduisant une méthode, non pas dialectique, mais empirique : c'est le pragmatisme, d'après un vocable forgé par Charles Sanders Peirce (1839-1914), et qu'il exposa sous le titre de Pragmatism : a new name for old ways of thinking (Le pragmatisme : un nom nouveau pour une vieille manière de penser, 1906). Le pragmatisme consiste à partir de l'expérience humaine, à l'origine des problèmes, donc à même de les résoudre, encore mieux que les dogmes contradictoires amassés au cours des siècles. Autrement dit, la signification de toute idée, qu'elle soit scientifique, religieuse, philosophique, politique ou sociale, est à rechercher dans la succession des expériences dont elle provient. La vérité se définit donc par ses effets dans l'action, laquelle s'exprime par trois émotions majeures : la sérénité scientifique, l'indignation politique et l'illumination religieuse.

Le contexte était alors devenu favorable au développement des recherches et des grandes théories sur le système nerveux et le cerveau, par les trois grandes voies d'approches, à la fois physiologique, psychologique et clinique, qui vont s'imbriquer pour parfaire notre niveau de connaissance.

Découvertes

Nul autre physiologiste que Claude Bernard (1813-1878), professeur au Muséum national d'histoire naturelle, n'aura mieux le sentiment que la déduction anatomique était devenue insuffisante en physiologie, qu'il tenait néanmoins, dans son Introduction à l'étude de la médecine expérimentale (1865), pour presque accomplie face à une médecine fort archaïque. Il visait surtout l'anatomie macroscopique, c'est-à-dire l'observation des organes à l'état cadavérique, car « une fonction exige toujours la coopération de plusieurs organes, et de même un organe a ordinairement plusieurs usages. » Il s'opposait ainsi à l'antique équation un siège = un organe (*voir Biologie-Géologie, 2-2010, p.132 à 136*), mais aussi à Jacques Lordat (1773-1870), le despotique coryphée de l'Ecole de Montpellier qui ne voulait adopter que l'ordre anatomique et non pas celui des fonctions au prétexte qu'on serait obligé de revenir plusieurs fois sur les mêmes parties.

Le principe de polyvalence fonctionnelle perdra cependant de sa portée le jour où l'histologie viendra démembrer les organes délimités selon la tradition millénaire de l'anatomie, notamment par l'identification des îlots de Langerhans (1869), faisant dès lors cesser de tenir le pancréas pour un seul et simple organe. C'était l'époque où il n'était pas bon de réduire la physiologie en esclavage par allégeance aux vainqueurs de l'époque : les sciences physico-chimiques. La mise en garde de

Claude Bernard est sans appel dans son Rapport sur les progrès et la marche de la physiologie générale en France (1867) : « Sans aucun doute (…) il n'y a qu'une mécanique, qu'une physique et qu'une chimie quant aux lois qui régissent les phénomènes des corps vivants et des corps bruts. Mais (…) ce serait néanmoins une erreur d'assimiler complètement les phénomènes des corps vivants à ceux qui se passent dans les corps bruts. » Ce rapport n'est en réalité qu'un long plaidoyer pour le recours à l'idée dans la recherche : « Le vrai savant est celui qui trouve les matériaux de la science et qui cherche en même temps à la construire en déterminant la place des faits et en indiquant la signification qu'ils doivent avoir dans l'édifice scientifique. » Car Bernard fut bien l'un des acteurs, avec son maître François Magendie et Bichat, du mouvement de rénovation méthodologique qui a fondé la physiologie moderne sur l'expérimentation sur les organismes vivants : « La méthode expérimentale, considérée en elle-même, n'est rien autre chose qu'un raisonnement à l'aide duquel nous soumettons méthodiquement nos idées à l'expérience des faits. (…)

L'expérimentation ou l'art d'obtenir des expériences rigoureuses et bien déterminées est la base pratique et en quelque sorte la partie exécutive de la méthode expérimentale appliquée à la médecine (Introduction, 1865). » Affichant une hostilité déclarée pour les théories explicatives, il n'avait de cesse de réitérer son affirmation : la physiologie est devenue scientifique en devenant expérimentale. Il doit également sa célébrité au concept de milieu intérieur (1865) qui fait suite à celui de sécrétion interne (1855) dans lequel on peut voir une fidélité discrète à l'inspiration de Bichat : cela va dans le sens d'un associationnisme cellulaire où l'organisme fait un milieu pour ses éléments, et où le milieu fait, des éléments, un organisme, les corps vivants se faisant ainsi de moins en moins passivement dépendants de leur milieu de vie, à une époque où lamarckisme et darwinisme inclinaient, quoique différemment, à rechercher par quels mécanismes les êtres vivants sont soumis au milieu extérieur. De là l'insistance souvent hyperbolique avec laquelle Bernard proclamait la juridiction du déterminisme sur les phénomènes organiques, comme dans ses Leçons de physiologie opératoire (1879) : « La vie réside exclusivement dans les éléments organiques du corps ; tout le reste n'est que mécanisme. Les organes réunis ne sont que des appareils construits en vue de la conservation des propriétés vitales élémentaires. » Prospecteur de la pathophysiologie nerveuse, ses expériences, consignées dans les Recherches expérimentales sur le grand sympathique (1854), les Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux (1858) et les Leçons de pathologie expérimentale (1872), ont considérablement enrichi nos connaissances sur le système nerveux tant sur le plan des techniques que sur celui des notions générales : lésion d'une partie du système nerveux central provoquant la glycosurie (la piqûre sucrée, 1849) ; fonction du nerf spinal et rôle gustatif du nerf facial, action du sympathique sur la calorification et sur l'œil (syndrome oculo-pupillaire, 1852) ; existence de nerfs vaso-constricteurs (1852) et vaso-dilatateurs (1858) ; notion d'innervation réciproque, marquant ainsi un progrès dans la compréhension du mécanisme de l'intégration nerveuse.

Initiateur de la méthode expérimentale, Claude Bernard a eu de nombreux élèves qui feront foisonner l'aspect instrumental de l'expérimentation. Citons seulement le biophysicien et chirurgien Jacques Arsène d'Arsonval (1851-1940) pour ses recherches sur les effets de courants à haute fréquence chez les animaux, fondateur en 1897 de l'Ecole supérieure d'Electricité et de la Société française d'Electrothérapie, et auquel on doit de nombreuses inventions (le galvanomètre balistique, le premier téléphone agrée par les PTT, la future bouteille Thermos) ; ou encore Paul Bert (1833-1886), qui révolutionna la physiologie sous-marine et de l'altitude en décrivant la toxicité de l'oxygène (hypoxie, hyperoxie) sur le système nerveux central. Le mal des montagnes, l'adaptation de la vie en haute altitude étaient en effet de mode depuis le début du XIXe siècle avec les ascensions en aérostats dans un but sportif ou scientifique et dont l'intérêt s'était soudain accru par la catastrophe du ballon Zénith en 1875. Aussi son ouvrage sur La pression barométrique, recherches de physiologie expérimentale (1878) connut-il un succès jamais démenti puisqu'il sera traduit en 1943 en anglais pour des raisons manifestes touchant aux performances de l'aviation civile ou militaire. C'est à un disciple de Bert, Léon Frédéricq (1852-1935), que l'on devra la célèbre expérience en 1887 à Liège de circulation céphalique croisée, prototype d'une technique qui deviendra classique en physiologie, notamment nerveuse.

La méthode expérimentale a ainsi été décisive dans la connaissance de l'Homme en général, et plus particulièrement dans celle du cerveau. Pour des raisons didactiques, il convient de distinguer plusieurs domaines d'avancement du savoir.

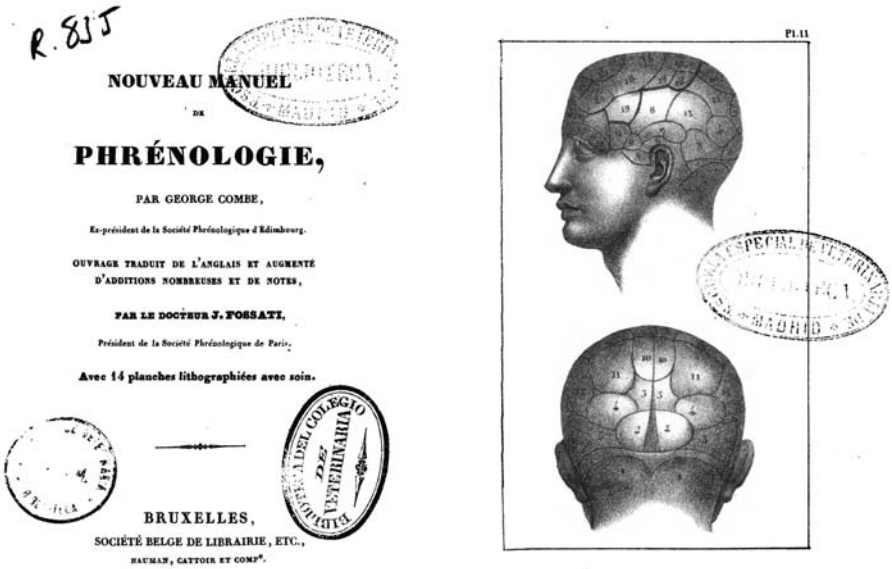
La morphologie cérébrale et l'étude fonctionnelle du cerveau

Si le médecin et anatomiste italien Luigi Rolando (1773-1831) revendiqua avoir été le premier à penser aux localisations cérébrales, insistant sur la circonvolution de la région sensori-motrice qui porte son nom (il démontra aussi la complexité de la substance grise, déduisant que le système nerveux est composé d'éléments liés par des impulsions électriques et décrivit la substance gélatineuse de la moelle épinière), la morphologie cérébrale a cependant connu son heure de gloire avec le médecin allemand (naturalisé français) Franz Joseph Gall (1758-1828), le fondateur, avec le Viennois Johann Gaspar Spürzheim (1776-1832), de la phrénologie (du grec phrea : intelligence) : le cerveau est l'organe de tous les penchants, de toutes les facultés mentales. Il en était intimement persuadé pour les raisons suivantes : les différences neuroanatomiques entre animal et Homme apparaissent non pas tant au niveau médullaire qu'à celui des hémisphères cérébraux ; les enfants anencéphales (nés sans encéphale) sont réduits à une vie plus ou moins végétative, ce qui confirme le rôle prépondérant du cerveau ; la pathologie psychiatrique montre des symptômes limités et isolés, ce qui sous-entend une localisation distincte des fonctions correspondantes dans le cerveau. Il s'agit donc de faire dépendre d'un centre cérébral strictement localisé chaque faculté psychique, au nombre de 27 : instinct de la reproduction ; amour de la progéniture ; attachement et amitié ; instinct de la défense de soi-même et de sa propriété ; instinct carnassier et penchant au meurtre ; ruse, finesse et savoir-faire ; sentiment de la propriété et penchant au vol ; orgueil, hauteur, fierté et amour de l'autorité ; vanité, ambition et amour de la gloi-

re ; circonspection et clairvoyance ; mémoire des choses et des faits ; sens des rapports de l'espace ; mémoire des personnes ; sens des mots et des noms ou mémoire verbale ; sens du langage de parole ou talent de la philologie ; sens des rapports chromatiques ou talent de la peinture ; sens des rapports des tons ou talent de la musique ; sens des rapports des nombres ; sens de la mécanique, de la construction et talent de l'architecture ; sagacité comparative ; profondeur d'esprit ou esprit métaphysique ; esprit caustique et esprit de saillie ; talent poétique ; bonté, bienveillance, douceur, compassion, sensibilité, sens moral, conscience et sentiment de la justice ; faculté d'imiter et mimique ; sentiment religieux ; fermeté, constance, persévérance et opiniâtreté. Voilà pour la première version, puis il y eut 32 forces primitives, et encore plus au fur et à mesure de la diffusion du mouvement phrénologique et de son adaptation aux exigences locales.

Par rapport aux schémas classiques de la métaphysique et du sensualisme (doctrine philosophique du XVIIIe siècle pour laquelle toute idée provient des sensations et représentée par Etienne Bonnot de Condillac en France et John Locke en Angleterre), ce qu'il y a de neuf et d'original, c'est que ces facultés ne rentrent dans aucune des trois catégories traditionnelles (connaissance, sentiment et volonté) puisqu'elles appartiennent chacune à toutes les trois. Si les pouvoirs de l'âme avaient classiquement évoqué un idéal statutaire sans jamais résoudre l'équation de chaque individu, les fonctions de l'organologie phrénologique s'engagèrent donc dans l'opération inverse, pour trouver non plus un dénominateur commun, mais le système propre à untel ou untel. Gall innova aussi en matière d'anatomie. Jusqu'à lui, le cerveau, prélevé, cuit ou macéré dans de l'alcool (remplacé plus tard par le formol) pour le durcir était sectionné soit de haut en bas horizontalement soit d'avant en arrière sur un plan vertico-frontal, les deux méthodes ayant en commun l'inconvénient de rompre la continuité des structures cérébrales. Délaissant ces sections étagées, il procéda alors par élimination successive du tissu nerveux au moyen d'un scalpel et d'un jet d'eau, remontant ainsi du bulbe rachidien au cortex cérébral en respectant les voies nerveuses reliant ce dernier à la moelle épinière. En réussissant à déplier les hémisphères cérébraux, Gall mit également en évidence l'unicité du manteau cortical.

L'autre apport fondamental de la phrénologie a été de poser les bases de la cartographie corticale moderne (*fig. 5*) : le cortex cérébral cessa ainsi d'être le processus entéroïde des anatomistes de l'Age classique. Au point que le zoologiste et anatomiste Louis-Pierre Gratiolet (1815-1865) et le psychiatre François Leuret (1797-1851), médecin-chef de l'hôpital de Bicêtre, vont inventorier dans leur ouvrage commun sur l'Anatomie comparée du système nerveux (1838) les circonvolutions cérébrales et leur découpage en lobes frontal, temporal, pariétal, occipital et insula est aujourd'hui classique : « On sait que l'intelligence ne se manifeste jamais sans le système nerveux, et l'on attribue aux différences de forme, de volume et de texture des parties qui composent ce système, les différences que l'on observe dans l'étendue et la variété des phénomènes instinctifs, intellectuels et moraux. (…) le seul moyen que nous ayons de préparer la solution de cet important problème, c'est de comparer dans chacune des familles, et même dans chacun des individus qui composent la série animale, l'état du système nerveux et celui de l'in-



5. Livre de phrénologie (1837) de George Combe (1788-1858) avec une planche montrant la cartographie du cerveau, conservé à la Bibliothèque du Collège vétérinaire de Madrid

telligence, afin de savoir si une organisation donnée coïncide toujours avec le même développement intellectuel et si jamais ce développement intellectuel ne se manifeste pas avec une organisation différente. » Mais le développement des circonvolutions cérébrales n'a pas de lien direct avec le volume du cerveau, et Gratiolet compléta : « La surface du cerveau est lisse et polie dans un grand nombre d'animaux. Plus tard, elle est chargée de plis nombreux et compliqués auxquels on a donné le nom de circonvolutions (…). Tous ces plis se continuent les uns dans les autres, et forment un système de collines et de vallées. Aussi, toute distinction absolue de régions est-elle artificielle. L'hémisphère est un, il n'y a qu'une couche corticale, mais certains groupes de plis se dessinent. Les uns occupent la surface externe de l'hémisphère, les autres sa face interne. »

Ce sera l'âge d'or des localisateurs avec, entre autres, le médecin allemand Karl Friedrich Burdach (1776-1847), qui occupa la chaire de physiologie à l'Université de Königsberg, montra que le corps calleux est une structure fibreuse unissant les fonctions psychiques des deux hémisphères cérébraux et laissa son nom à un faisceau médullaire véhiculant les informations somesthésiques (du corps) vers le cerveau ; l'anatomiste et histologiste russe Vladimir Alekseyevich Betz (1834-1894) qui décrivit en 1874 les cellules pyramidales du cortex moteur ; le neuropathologiste et psychiatre austro-allemand Theodor Hermann Meynert (1833-1892) qui contribua au rayonnement scientifique de l'Université de Vienne, en démontrant dans son traité Psychiatrie Klinik der Erkrankungen des Vorderhirns (1884) que la psychiatrie doit être ancrée dans la neurologie et l'anatomie, et en identifiant plusieurs faisceaux de substance blanche connectant diverses aires fonctionnelles du cerveau. Meynert eut notamment comme élèves Paul Emil Flechsig (1847-1929), un neuro-

logue saxon, chirurgien pendant la guerre franco-prussienne de 1870, co-fondateur en 1901 de la Commission internationale sur le Cerveau (laquelle sera dissoute pendant la Première Guerre mondiale), qui impulsa l'étude du développement cérébral en analysant les premiers stades de la myélinisation dans les cerveaux de nouveau-nés et laissa son nom à un faisceau partant de la moelle épinière et se rendant au cervelet ; Serguei Korsakov (1853-1900), un neuropsychiatre russe qui décrivit une affection mentale d'origine toxique, alcoolique surtout, portant son nom (syndrome de Korsakov : voir Gandolfo et Arnaud, *Biologie-Géologie, 3-2001, p.533*), caractérisée par un trouble persistant de la mémoire et associée à des lésions diffuses des régions voisines du troisième ventricule du cerveau, que le neuroanatomiste américain James Wenceslas Papez (1883-1958) identifiera sous un circuit, appelé justement circuit de Papez. Ce dernier continuera l'idée d'aller chercher dans l'anatomie cérébrale les secrets de la vie des gens et considèrera le système limbique du cerveau comme la structure fonctionnelle responsable des émotions. Il aurait même autopsié le cerveau d'une suffragette américaine, Hélène Hamilton Gardener (1853-1925), qui s'était opposée à la théorie, en vigueur alors, d'une plus grande intelligence des cerveaux mâles, et le comparera, mais sans trouver de différence, avec celui d'un éminent professeur de Cornell (New York) qui venait de décéder !

Contrairement à la conception unitariste qui faisait de l'âme une sorte de fonction d'ensemble du cerveau tout entier, dont on pouvait supprimer la manifestation in toto mais non point partiellement, on montrait ainsi désormais que certaines fonctions psychiques, pour ne pas dire toutes, dépendent de centres circonscrits de l'écorce cérébrale. La polémique ne pouvait donc qu'être vive entre les partisans des localisateurs, dont le chef de file en France était le médecin François Joseph-Victor Broussais (1772-1838), titulaire de la chaire de pathologie et thérapeutiques générales de la Faculté de Médecine de Paris, et ceux de l'unitarisme, à la tête desquels se trouvait le physiologiste montpelliérain Marie-Jean Pierre Flourens (1794-1867). Ce disciple du baron Cuvier, le fondateur de l'anatomie comparée et de la paléontologie, auquel il succèdera en 1832 dans la chaire d'histoire naturelle du Collège de France, était déjà connu pour ses Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux chez les vertébrés (1822), complétées par ses *Expériences sur le système nerveux* (1825), dans lesquelles il exposa la théorie de la coordination motrice qui fera date en physiologie nerveuse. Il distinguait le cerveau, siège de l'intelligence (perception et volition) et les centres inférieurs recevant les impressions (sensibilité) et commandant les mouvements (motricité qu'il nomma excitabilité). Il décrivit le nœud vital, le centre respiratoire du bulbe rachidien et, au lendemain de la découverte de l'anesthésie vers 1840 par le dentiste américain Horace Wells (1815-1848), rédigea une Note touchant l'action de l'éther sur les centres nerveux (1857). Mais ce sont surtout ses travaux sur les fonctions du cervelet, sur la posture et le maintien de l'équilibre, qui feront de lui le réfutateur de Gall (*Examen de la phrénologie*, 1842) et le promoteur de la conception holistique du fonctionnement cérébral (le cerveau fonctionne comme un tout) : parce qu'il avait remarqué que des lésions d'aires cérébrales particulières chez les oiseaux ne s'accompagnent pas de troubles comportementaux définis, il en déduisit qu'il n'y a donc pas de siège pour les différentes facultés ni pour les diverses sensations. Flourens a fondé avec le mathématicien, astronome et physicien François Arago

(1786-1853) les célèbres Comptes-rendus de l'Académie des sciences. Il recevra l'appui d'autres anti-localisateurs célèbres, comme celui de son élève l'endocrinologue Edmé Félix Alfred Vulpian (1826-1887), le découvreur de l'adrénaline (1856), une hormone des capsules surrénales qui est également un médiateur du système nerveux, dont il étudiera aussi la dégénérescence et la régénération ; et surtout celui de Charles-Edward Brown-Séquard (1817-1894), qui succédera à Claude Bernard au Collège de France (1878) après avoir été professeur de physiologie et de pathologie à l'Université d'Harvard, et que l'on considère à la fois comme l'un des pionniers de la neurophysiologie de la moelle épinière (il décrivit un syndrome portant son nom dû à une hémisection médullaire, dont les effets ont permis d'analyser le trajet des grandes voies sensitives et motrices), ainsi que de l'endocrinologie (1891), en découvrant le rôle vital des glandes surrénales (1856) et surtout en anticipant le concept actuel d'hormone (le terme ne verra le jour qu'en 1905 chez Ernest-Henry Starling) : « (les cellules) sont rendues solidaires les unes des autres par un mécanisme autre que les actions du système nerveux. » La petite histoire retiendra les sarcasmes suscités par sa communication en juin 1889 à la Société de Biologie sur la puissance « dynamogénisante » d'un liquide extrait de testicules de moutons et qu'il venait de s'injecter, lui provoquant des allergies dermatologiques fort visibles, ce qui ne l'empêcha pas de témoigner de l'efficacité du mélange, alors qu'il était septuagénaire ! Toujours est-il que ses expériences controversées seront le point de départ d'une nouvelle thérapeutique, l'opothérapie, qui consiste à combattre les troubles dus à la déficience d'un organe par l'injection ou l'ingestion de produits extraits de ce même organe prélevé sur des animaux sains et jeunes. Brown-Séquard contribua à fonder en 1868 les fameuses Archives de physiologie, dans lesquelles il publia d'ailleurs la grande majorité de ses recherches.

La querelle entre unitaristes et localisateurs s'est déplacée de la neurologie à la psychiatrie. D'un côté, les partisans de la première doctrine concevaient l'aliénation mentale comme un processus unique, aux manifestations cliniques certes diverses, néanmoins unitaires. On y trouve le célèbre aliéniste français Philippe Pinel (1745-1826), auquel on attribue la « libération » des malades mentaux à l'intérieur des asiles, une légende qu'il créa en fait lui-même en la consignant dans l'introduction de la deuxième édition (1809) de son *Traité médico-philosophique sur l'aliénation mentale* (et ne figurait pas dans la première édition de 1801) et transmise avec complaisance par une classe médicale soucieuse de faire oublier l'opportunisme et la soif de pouvoir de ce médecin aux débuts modestes, pour ne pas dire médiocres : n'arrivant pas à faire carrière sous l'Ancien Régime (qui d'ailleurs chargeait moins de chaînes les aliénés qu'on a bien voulu le faire accroire), il adopta avec enthousiasme les idées de la Révolution, devint officier municipal, participa en armes au service d'ordre lors de l'exécution de Louis XVI, se fit nommer médecin à l'hospice de Bicêtre en entendant que la Terreur passât ; la réaction thermidorienne le propulsa alors à la chaire de pathologie de la toute nouvelle Ecole de Santé de Paris (1794), puis comme médecin-chef à l'hôpital de la Salpêtrière (1795), où il se maintiendra pendant l'Empire et les deux Restaurations et jusqu'à sa mort, malgré sa révocation en 1822 de l'Ecole de médecine, dissoute cette année-là. Ce qui n'oblitère tout de même pas l'importance de ses travaux. Dans sa Nosographie philosophique ou Méthode de l'analyse appliquée à la médecine (1798), il moderni-

sa la classification des maladies mentales en la fondant, non plus sur les symptômes, mais sur les organes lésés. Toutefois, dans le chapitre intitulé Les vésanies, il reconnut l'absence de lésion spécifique du cerveau dans certaines pathologies et le recours obligé au seul comportement où il est progressivement de plus en plus perturbé : la simple mélancolie ou délire partiel (dirigé sur un seul objet) ; la manie ou délire généralisé ; la démence ou affaiblissement intellectuel généralisé, dissociation des idées, absence de jugement ; l'idiotisme enfin, inné ou acquis, avec l'abolition totale des fonctions de l'entendement. S'attachant plus tard aux causes de l'aliénation, prédisposantes ou occasionnelles, Pinel n'a jamais cru à une organogenèse cérébrale directe, même s'il a reconnu que les lésions du cerveau sont graves et qu'elles entraînent des troubles sérieux sur le plan vital et définitif. Par son concept quelque peu ambigu de sympathie, il considéra les troubles mentaux comme consécutifs à des atteintes viscérales, elles-mêmes provoquées par les émotions et les passions. Cette organogenèse secondaire plutôt confuse sera violemment critiquée par son élève Etienne-Jean Georget (1795-1828) qui délimitera le champ de la psychose de celui des affections découlant de maladies organiques.

Pinel s'était inspiré du Traité du physique et du moral de l'homme (1802), réimprimé par la suite sous le titre mieux connu des Rapports du physique et du moral, de son confrère Pierre-Jean Georges Cabanis (1757-1808), dans lequel l'auteur tentait d'expliquer scientifiquement les rapports de l'âme avec le corps : « Le cerveau digère en quelque sorte les impressions ; il produit organiquement la sécrétion de la pensée. » Ce médecin et philosophe matérialiste, professeur de clinique médicale à l'Ecole de médecine de Paris et membre de l'Institut (1796), chercha à démontrer que la vie intellectuelle et la morale sont unies à la vie organique, la psychologie et la physiologie ne pouvant donc être étudiées isolément, encore moins opposées l'une à l'autre. Il a ainsi toujours prétendu que la folie n'est que la traduction apparente des désordres occasionnés par la sensibilité interne corporelle et que, si aucune anomalie n'est visible dans le cerveau, elle vient alors de troubles entre la pensée et la sensibilité d'autres organes. Ce ne sera que sur le tard qu'il reviendra à une métaphysique orthodoxe et conservatrice dans sa Lettre sur les causes premières, laquelle ne sera publiée qu'en 1824.

On retrouvera bien sûr ces deux courants contradictoires dans la psychiatrie allemande. L'un affirmera que l'aliénation est un désordre de l'âme : Störungen des Seelenlebens (1818) est d'ailleurs le titre de l'ouvrage majeur de Johann Christian August Heinroth (1773-1843), professeur de médecine physique et doyen de la faculté de Leipzig. L'autre en fera une atteinte idiopathique et primitive du cerveau, avec l'un des fondateurs (avec Meynert) de la psychiatrie organique, Wilhelm Griesinger (1817-1868), resté célèbre pour sa réforme du système asilaire (il poussait à des hospitalisations brèves combinées à un retour dans la vie locale) et surtout pour sa fameuse phrase issue de son Traité des maladies mentales : pathologie et thérapeutique (1865) : « Les maladies mentales sont des maladies cérébrales.»

Ces débats sur l'étiologie n'intéresseront guère Jean Etienne Dominique Esquirol (1772-1840), l'illustre médecin-chef de l'hospice de Charenton à l'origine de la fameuse loi du 30 juin 1838 sur l'assistance aux aliénés (au point que le terme d'esquirolisation deviendra synonyme d'internement dans le vocabulaire psychia-

trique). Cet élève de Pinel, auquel il succèdera d'ailleurs à la tête de la Salpêtrière, reprendra pourtant la classification nosographique de son maître dans son traité Des maladies mentales considérées sous le rapport médical, hygiénique et médico-légal (1838) mais la modifiera à propos de l'idiotie et des démences : il séparera ainsi ce qui est de l'ordre d'une insuffisance de développement mental congénitale ou héréditaire (idiotie, crétinisme, imbécillité) de ce qui est de celui de l'affaiblissement acquis (démence aiguë, transitoire, et démence chronique). Dans la première catégorie, il décrira notamment des retardés aux yeux en amande et au nez aplati, auxquels John Langdon Down (1828-1896) attachera le terme de mongolisme en 1862. Esquirol y définit scientifiquement, le premier, les démences : « La démence est une affection cérébrale (…) caractérisée par l'affaiblissement de la sensibilité, de l'intelligence et de la volonté : l'incohérence des idées, le défaut de spontanéité intellectuelle et morale sont les signes de cette affection. L'homme qui est dans la démence a perdu la faculté de percevoir convenablement les objets, d'en saisir les rapports, de les comparer, d'en conserver le souvenir complet ; d'où résulte l'impossibilité de raisonner juste. » Cet apparent progrès dans le diagnostic des maladies mentales sera hélas l'amorce de toute une conception étiologique privilégiant l'hérédité en psychiatrie infantile, le retard de développement intellectuel apparaissant alors plus important que la perturbation affective profonde. En 1837, James Prichard (1786-1848), médecin et ethnologue, fondateur de l'anthropologie anglaise, avait déjà proposé différents critères de la folie morale qui est une perversion des sentiments, une déchéance morale, faisant des malades mentaux des êtres mauvais, dangereux, voire criminels : perte de la mémoire récente, puis perte de la raison et de la compréhension, enfin, des actions instinctives. D'autres psychiatres britanniques tentèrent d'associer les déficits du raisonnement à l'état du cerveau, comme Matthew Baillie (1761-1823), auteur d'un traité d'anatomie morbide où il décrivit de nombreux cas d'hydrocéphalie chez des enfants, ou encore sir Samuel Wilks (1824-1911) qui relata en 1868 les paralysies dues à l'alcoolisme (nommées plus tard syndrome de Korsakov) et en 1877 le premier cas de myasthénie grave : la paralysie bulbaire.

En revanche, on pourra parler enfin des maladies mentales, et non plus d'un processus unique avec des variantes pathologiques, avec deux autres psychiatres de la Salpêtrière : Jean-Pierre Falret (1794-1870) dont la Folie circulaire (1854) s'opposera dans une interminable querelle d'antériorité à la Folie à double forme (1854 également) – les deux seront renommées plus tard psychose maniaco-dépressive, puis de nos jours troubles bipolaires - de son confrère Jules Gabriel François Baillarger (1806-1891), cofondateur de la Société et des Annales médico-psychologiques, qui par ailleurs, en observant simplement à la loupe des sections minces de cerveau, définit les six couches du cortex cérébral avec alternance entre les grises et les blanches.

La constitution organique du cerveau

C'est cet aspect des recherches sur le cerveau qui subit sans doute l'évolution la plus spectaculaire. A la théorie fibrillaire (*voir Biologie-Géologie, 3-2010, p.184*) née de la description faite en 1779 par l'Italien Felice Gaspar Ferdinand Fontana

(1730-1805) d'une gaine entourant les fibres nerveuses et qui postulait que tout organe est constitué de fibres, sa consistance étant alors en rapport avec la proportion des liquides organiques combinés aux fibres, à cette théorie de l'époque classique, donc, se substitua, avec la découverte du tissu nerveux par Bichat une théorie tissulaire, selon laquelle tous les organes sont formés de tissus, qui sont au nombre de 21 possibles. Cette dernière sera à son tour remplacée en 1839 par la théorie cellulaire, grâce à l'introduction du microscope achromatique permettant de corriger les aberrations optiques des instruments antérieurs (*voir Biologie-Géologie, 3-2010, p.181-82*) par une combinaison de plusieurs lentilles. La cellule, selon le terme créé en 1665 par Robert Hooke (1635-1703), devint ainsi l'unité structurale et fonctionnelle fondamentale des êtres vivants.

Le biologiste allemand Theodor Schwann (1810-1882), professeur à Louvain et à Liège, étudia la contraction musculaire et la structure du nerf. Dans les fibres nerveuses, il découvrit la couche protectrice qui recouvre les axones : elle porte d'ailleurs le nom de gaine de Schwann. Il passe pour l'un des fondateurs, avec ses compatriotes Rudolf Virchow (1821-1892) et Ernst Haeckel (1834-1919), de la théorie cellulaire qu'il exposa dans ses *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstume der Tiere und Pflanzen* (Recherches microscopiques sur la conformité de structure et de croissance des animaux et des plantes, 1839) : « Les cellules sont des organismes, et les animaux comme les plantes sont des agrégats de ces organismes arrangés suivant des lois définies. » Il forgea également le terme de métabolisme pour représenter les modifications chimiques survenant dans les tissus vivants et isola dans le tissu animal une enzyme digestive : la pepsine.

L'anatomiste et neurophysiologiste tchèque Jan Evangelista Purkinje (ou Purkyné : 1787-1869), un grand érudit (il parlait treize langues et a traduit Goethe et Schiller en tchèque) fondateur en 1823 du premier laboratoire de Physiologie à Breslau (Prusse), laissa aussi son nom dans les annales de l'histologie, notamment à l'élément cellulaire fondamental de l'écorce du cervelet : il améliora la réalisation des coupes en introduisant le microtome. Il travailla également sur la vision (1819-25), montrant que l'adaptation de l'œil à la vision crépusculaire s'accompagne d'un accroissement relatif de sensibilité au bleu par rapport au rouge (effet Purkinje), ainsi que sur les fonctions cérébrales (1826) et la phonation (1827). Il mit également en évidence les glandes sudoripares, des faisceaux dans le cœur (qui portent son nom) et s'intéressa à la pharmacologie en analysant les effets de la belladone, du camphre et de l'opium.

Connaissant depuis Thomas Willis (1621-1675) et Raymond Vieussens (1641-1715) l'existence dans le cerveau de deux substances, la cendrée (appelée par la suite substance grise) et la blanche (*voir Biologie-Géologie, 3-2010, p.180*), on finit par admettre que la première était constituée par des cellules et la seconde par des fibres. L'embryologiste, physiologiste et neurologue allemand Robert Remak (1815-1865) découvrit les fibres nerveuses amyéliniques et postula dès 1838 une continuité anatomique entre les corps cellulaires de la substance grise et les fibres nerveuses de la substance blanche, mais sans la démontrer, car la consistance molle du cerveau rendait les coupes histologiques difficiles à réaliser : un bon microscope

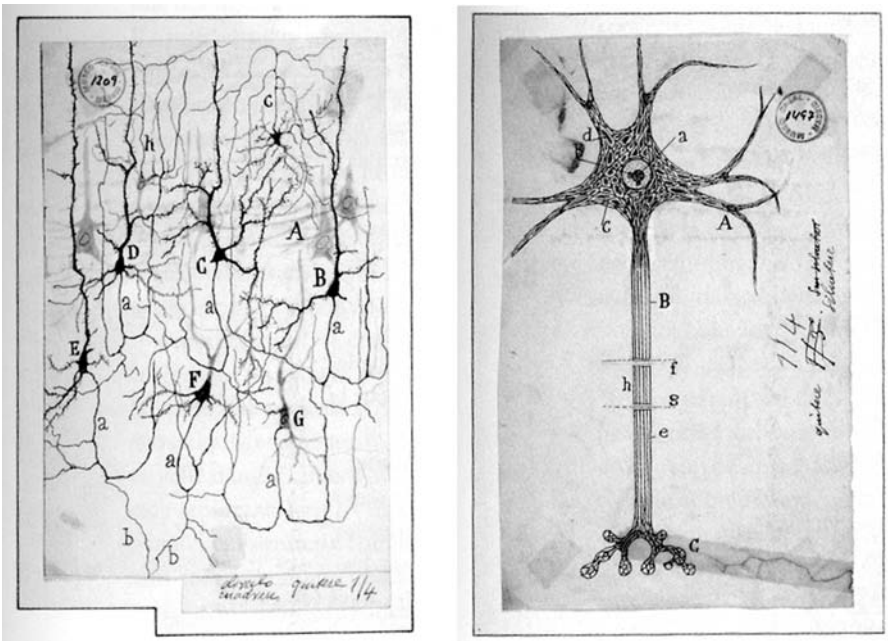
ne suffisait plus ! Pour faciliter les coupes, on chercha alors à durcir le tissu cérébral par toutes sortes de procédés : alcool, acide chromique, formol, inclusion du matériel dans un support de paraffine. Puis, on commença à colorer les coupes préalablement durcies : aniline, indigo, carmin, chlorure d'or… C'est ainsi qu'en 1849 le biologiste et physiologiste suisse Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905), professeur d'anatomie microscopique et comparative à l'Université de Würzburg (Bavière), confirma, grâce au procédé de coloration à l'acide chromique des coupes histologiques préalablement fixées, la supposition de Remak : la cellule nerveuse est bien formée d'un corps cellulaire dans la substance grise et d'une fibre dans la substance blanche.

En 1865, l'anatomiste allemand Otto Friedrich Karl Deiters (1834-1863) fournit, au moyen de sa technique de microdissection utilisant du rouge carmin, la première description complète de la morphologie de la cellule nerveuse : du corps cellulaire (péricaryon, souvent appelé soma par référence au corps) prennent naissance des extensions protoplasmiques formant un prolongement unique constituant la fibre (qu'il appela cylindre-axe qui deviendra cylindraxe puis axone) et des rameaux buissonnants (dendrites, la racine dendron signifiant arbre). Deiters, qui est mort prématurément de fièvre typhoïde, décrivit aussi les bâtonnets de la rétine et l'anatomie du nerf auditif, laissant son nom au noyau vestibulaire latéral, que Vladimir Bechterev (1857-1927) mettra en relation avec le nerf vestibulaire. Ce dernier dissocia d'ailleurs la branche vestibulaire (équilibre) et celle cochléaire (audition) du nerf auditif et donna son nom au noyau vestibulaire supérieur, qui est essentiel dans les réflexes posturaux. En 1875, l'anatomiste français Louis Ranvier (1835-1922), élève de Claude Bernard, en dissociant à l'acide osmique le nerf sciatique d'une grenouille vivante, décrivit des étranglements qui portent son nom (les nœuds de Ranvier), pensant seulement qu'ils servent à la nutrition des éléments nerveux (alors qu'ils permettent la conduction saltatoire de l'influx nerveux). Il publia avec Victor-André Cornil (1837-1908) l'un des premiers Manuel d'histologie pathologique (1881). En 1891, c'est un autre anatomiste allemand, Heinrich Wilhelm Gottfried von Waldeyer-Hartz (1836-1921), qui proposa d'appeler neurone l'unité structurale du tissu nerveux, ce qui permettra à la théorie neuroniste d'éclore. Il défendit ainsi l'unité cellulaire et la présence de liaisons contiguës entre les cellules. On lui devait déjà, en 1888, un autre néologisme qui deviendra tout aussi courant, celui de chromosome, pour désigner les filaments basophiliques intracellulaires impliqués dans le phénomène de la division cellulaire et qu'il avait réussi à colorer avec son collègue Walther Flemming (1843-1905).

Il restait enfin à savoir comment s'assemblent les neurones entre eux. Une violente controverse sur la continuité anatomique ou non des neurones s'engagea dès 1887 à partir des interrogations légitimes de deux savants suisses : l'embryologiste Wilhelm His (1863-1934), professeur à Leipzig, qui a pu voir que les cellules nerveuses en développement ne forment jamais de syncytium (masse protoplasmique indivise renfermant plusieurs noyaux comme par exemple la fibre musculaire striée) et le psychiatre, entomologiste et neuro-anatomiste Auguste-Henri Forel (1848-1931), professeur à l'Université de Zurich et directeur de la clinique Burghölzli, où il pratiqua des stérilisations forcées dans le cadre de la promotion de l'eugénisme en

Suisse. Il faut dire que le médecin italien Camillo Golgi (1843-1926), professeur, doyen puis recteur de l'Université de Pavie, grâce à sa méthode d'imprégnation argentique, avait réussi en 1873 à isoler complètement une cellule nerveuse : délaissant les colorants comme le carmin ou l'hématoxyline qui ne sont pas spécifiques aux cellules nerveuses, il développa un procédé avec le nitrate d'argent et le bicarbonate de potassium, qu'il nomma la reazione nera (la réaction noire) dans un bref article dans la Gazetta Medica intitulé Sur la structure de la matière grise du cerveau. Il appuyait ainsi bien involontairement la théorie réticulariste émise en 1872 par l'anatomiste allemand Joseph von Gerlach (1820-1896), un pionnier de la microphotographie anatomique (1863) ayant mis au point une coloration au carmin et au chlorure d'or propre aux tissus nerveux, et qui ne voyait ainsi dans le cerveau qu'un réseau continu de cellules, grâce aux « divisions les plus fines du processus protoplasmique prenant part finalement à la formation d'un réseau de fines fibres nerveuses dont je considère qu'il est un constituant essentiel de la substance grise… ». En bref, si les neurones sont bien identifiés au niveau du corps cellulaire, ils se regrouperaient néanmoins en un syncytium formant un réseau (reticulum) complexe. Golgi, qui finit par adhérer totalement à cette théorie réticulariste, est crédité de nombreuses autres découvertes, faites par certains de ses élèves : Adelchi Negri (1876-1912) décrivit les inclusions intraneuronales qui portent son nom et sont caractéristiques de la rage ; Emilio Veratti (1872-1967) mit en évidence le reticulum sarcoplasmique dans les fibres du muscle squelettique, rebaptisé plus tard appareil de Golgi (1898) et longtemps considéré comme un simple artefact de coloration avant qu'il ne soit confirmé par la microscopie électronique dans les années 1950. De son côté, l'anatomiste et anthropologiste suédois Gustav Retzius (1842-1919), professeur d'histologie à l'Institut Karolinska de Stockholm, appliqua la méthode de Golgi pour les organes sensoriels et publia des ouvrages d'anatomie avec de magnifiques coupes histologiques, aujourd'hui très recherchées.

Mais le médecin anatomiste espagnol Santiago Ramon y Cajal (1852-1934), en améliorant le colorant au nitrate d'argent de Golgi (1903), puis en mettant au point un colorant à l'or (1913) destiné à l'étude générale de la structure fine du tissu nerveux dans le cerveau, les centres sensoriels et la moelle épinière de l'embryon et du jeune animal, mit en évidence les dendrites neuronales et esquissa la structure précise et les connexions de la cellule nerveuse dans la substance grise : il confirma l'existence d'un contact entre les neurones qu'il avait supputé dès 1888 et définit en 1891 le principe de polarisation dynamique, à savoir que les dendrites et le corps cellulaire reçoivent l'influx nerveux qui, conduit par l'axone, est transmis à un autre neurone (*fig. 6*). Lors de l'attribution conjointe du Prix Nobel de médecine et de physiologie en 1906 à Golgi et Ramon y Cajal pour leur contribution respective à l'établissement du neurone comme unité fondamentale du tissu nerveux, la polémique était encore loin d'être éteinte. Dans sa conférence, prononcée en français le lendemain de la remise officielle des prix et intitulée La doctrine du neurone : théorie et faits, Golgi persistait à réfuter la possibilité d'une discontinuité anatomique entre les neurones: comment pourraient-ils donc fonctionner si tel était le cas ? Il optait toujours pour l'idée d'un syncytium. La microscopie optique n'était plus assez performante pour observer en détail une putative jonction inter-neuronique et il faudra attendre 1939 avec la construction par le Russe Wladimir Kosma Zworykin



6. Santiago Ramon y Cajal : dessins à l'encre de cellules nerveuses (v.1890) conservés à l'Institut Cajal de Madrid (extrait de L'âme au corps : arts et sciences 1793-1993, Ed. RMN/Gallimard/Electra, 1993 : p.385)

(1889-1982) de microscopes électroniques de bien meilleure résolution pour confirmer définitivement l'existence d'une contiguïté anatomique. Cette zone de contact entre neurones, l'Anglais Charles Sherrington l'appellera en 1897 synapse (du grec syn : ensemble et haptein : toucher, saisir, autrement dit connexion, joint, liaison, point de contact) et proposera l'idée d'une unidirectionnalité pour la transmission synaptique : « Aussi loin qu'aille notre savoir actuel, nous sommes en droit de penser que les terminaisons d'une arborescence nerveuse ne sont pas continues mais en contact avec le corps cellulaire avec lequel elle s'associe. Une telle connexion si particulière d'une cellule nerveuse à une autre doit être appelée synapse. »

La réflexologie

La notion de réflexe, entraperçue par Descartes, va être progressivement redécouverte. Le premier à avoir utilisé le terme comme substantif, en rapportant son mécanisme à la métaphore du faisceau lumineux renvoyé par un miroir, avait été Jean Astruc (1684-1766), un médecin montpelliérain qui fut premier médecin du roi de Pologne Auguste II et médecin consultant du roi de France Louis XV. Mais c'est surtout par l'école allemande de physiologie expérimentale que naîtra la réflexologie, avec Johannes Müller (1801-1858). Cet esprit encyclopédique (il fut attiré par la zoologie, la chimie et la théologie), fondateur en 1834 des A*rchiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medezin* (qui deviendront célèbres sous le nom

de Müller Archiv), fut l'un des promoteurs de l'anatomie et de la physiologie comparées, notamment dans son célèbre *Handbuch der Physiologie des Menschen* (Manuel de Physiologie humaine, 1838), où il énonça la loi de l'énergie spécifique des nerfs et des organes des sens qui servira d'idée directrice à toute la psychophysiologie de l'époque, et où il s'attacha aussi bien aux échanges chimiques de l'organisme (respiration, nutrition, sécrétion) qu'aux facultés intellectuelles. Tirant profit des ressources offertes par la microscopie, il donna aussi la première description de la structure des glandes endocrines, du cartilage et des organes génitaux.

La Société de physique de Berlin (Berliner Gesselschaft) formait un groupe subversif professant que seules les forces chimiques et physiques, à l'exclusion de toutes autres, agissent sur l'organisme. Vont y adhérer d'une part l'histologiste Ernst Wilhelm von Brücke (1819-1892), qui étudia surtout la physiologie des sensations (perceptions sonores et visuelles, liant celle des couleurs à des questions d'esthétique) et fut connu pour avoir favorisé la carrière scientifique naissante du jeune Freud ; d'autre part, Carl Ludwig (1816-1895), fondateur en 1869 du fameux Institut de Leipzig, à la fois administration et usine, divisé en trois départements (physiologie, chimie et anatomo-histologie), progrès considérable quand on considère le rudimentaire des laboratoires français et allemands de l'époque (Schwann a ainsi prétendu qu'il n'y avait qu'un seul microscope dans le service de Müller à Berlin quand il y travaillait !). Ludwig était très attaché aux techniques physico-chimiques : il collabora ainsi avec le physicien et chimiste Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899), lequel participa à la mise au point de ce qui est aujourd'hui connu sous le nom de bec Bunsen ; en conjuguant avec un enregistreur graphique l'hémodynamomètre (1825), un appareil de mesure de la pression artérielle inventé par le Français Jean-Louis Poiseuille (1799-1869) – dont les physiciens ont d'ailleurs conservé la mémoire plus fidèlement que les physiologistes en donnant le nom de poise à une unité de viscosité - , il mit au point en 1847 le kymographe, un appareil cylindrique utilisé en phonétique acoustique, enregistrant les mouvements musculaires et les changements dans la pression de l'air dans les cavités nasale, buccale et labiale. Ludwig a eu pour élèves Setchenov et Pavlov, les fondateurs de l'école russe de réflexologie (*voir quatrième partie, à venir*). Citons encore pour la contribution germanique un disciple de Du Bois-Reymond, Eduard Pflüger (1829-1910), instigateur de la loi de l'irradiation des réflexes (1853), qui deviendra obsolète après Sherrington, du concept de quotient respiratoire et constructeur de l'aérotonomètre (1869), un appareil de mesure de l'oxygène et du gaz carbonique dans le sang ; connu pour ses Recherches sur la physiologie de l'électrotonus (1858), il est aussi le fondateur des Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere (1869), qui portent désormais son nom : Pflügers Archiv.

La France peut s'enorgueillir à son tour de compter quelques précurseurs en la matière. A commencer par Julien Jean César Legallois (1770-1840), le premier physiologiste à avoir pratiqué la méthode expérimentale, grâce à laquelle il a pu localiser en 1806 le centre respiratoire bulbaire sur des lapins décortiqués (avec ablation du cortex cérébral) en survie et mettre en lumière la théorie neurogénique par la destruction progressive du système nerveux central. Son mémoire intitulé Expériences sur le principe de la vie, notamment sur celui des mouvements du cœur et sur le siè-

ge de ce principe (1812) inaugure la physiologie positive (*voir quatrième partie, à venir*) : il y établit la localisation dans la moelle épinière des centres de mouvements involontaires, donc des réflexes, donna des idées fort pertinentes sur la technique de vivisection et sur l'intérêt de l'anatomie comparée pour l'analyse des fonctions physiologiques. L'avant-propos de son ouvrage annonce ainsi la couleur : « Je ne vois dans l'échelle des animaux que celle de toutes les combinaisons possibles d'organes, capables d'entretenir la puissance nerveuse avec des qualités variables comme ces combinaisons, mais au fond de même nature dans toutes. Parmi ces combinaisons, celles qui sont les plus simples et dans lesquelles les conditions nécessaires à l'entretien de la puissance nerveuse existent dans toutes les parties, sont susceptibles d'être divisées par portions, et la vie peut continuer dans chaque portion comme dans l'animal entier ou plutôt chaque portion devient un nouvel animal. Celles, au contraire, dans lesquelles ces conditions sont concentrées dans certaines parties, n'admettent pas de semblables divisions avec le même succès ; la vie ne peut continuer dans les segments qui se trouvent séparés de ces parties, que le temps que la puissance nerveuse peut substituer par elle-même sans être renouvelée. » On voit ainsi poindre une stigmatisation du réflexe en tant qu'expression du corps se faisant sans l'intervention de l'âme, puisqu'il se produit en dehors de toute volonté et conscience, ainsi que l'idée du développement cérébral et de la phylogenèse, justifiant pleinement l'emploi d'animaux où toute la masse nerveuse n'est pas regroupée au niveau du cerveau. Legallois apparaît donc à ce titre comme une préfiguration à la fois de Flourens et de Claude Bernard.

François Achille Longet (1811-1871), professeur à la Faculté de Médecine de Paris et autre cofondateur avec Baillarger des Annales médico-psychologiques, continua les recherches de Legallois mais les enrichit à la lumière des travaux de Bell et de Magendie sur les nerfs rachidiens (voir ci-après: hodologie nerveuse) et ceux de Müller, de Marshall Hall (1790-1857) et de Jiri George Prochaska (1749-1820) sur les réflexes. C'est ainsi que dans ses Recherches expérimentales et pathologiques sur les propriétés et les fonctions des faisceaux de la moelle épinière et des racines des nerfs rachidiens (1841), il cita le physiologiste tchèque dont l'ouvrage De functionibus systematis nervosi commentatio (1784), qui établissait les principes généraux des réflexes, n'avait connu qu'une diffusion très restreinte : « Les impressions externes qui se font par les nerfs sensitifs se propagent avec rapidité en suivant toute la longueur de leur trajet jusqu'à leur origine. Dès qu'elles y sont parvenues, elles s'y réfléchissent, d'après une loi constante, et passent dans les nerfs moteurs correspondants, d'où des mouvements constants et déterminés dans les muscles (…). Le siège du sensorium commune s'étend jusque dans la moelle, ainsi que le prouvent les mouvements qui subsistent chez les animaux décapités, mouvements qui ne peuvent se produire sans une sorte de consensus entre les nerfs spinaux. » Alors certes, il n'y a pas de référence explicite à la présence de racines rachidiennes sensitives et motrices, mais la notion semble ici tacite. Longet étudia le rôle des colonnes médullaires antérieures et postérieures dans la sensibilité et la motricité. On lui doit également la première description détaillée de l'innervation du larynx, ainsi que d'importants travaux sur le système nerveux autonome mais il soutiendra, à l'instar de Flourens, que les hémisphères cérébraux ne possèderaient pas de fonctions motrices.

Johann August Unzer (1727-1799), professeur de physiologie à Halle, considéra dans ses Principes de Physiologie (1775) que, parmi les machines vivantes, il faut dissocier celles qui ont une âme et un cerveau de celles qui n'ont ni l'un ni l'autre. Il distingua ainsi les forces, uniquement animales et purement nerveuses, de l'âme et ses actions. Le mouvement des animaux décapités vient de cette force psychique animale qui ne se réduit donc pas aux seules lois physiques et mécaniques. Il supposa des phénomènes excito-moteurs induits par des impressions sensibles sans conscience. Chez les animaux sans cerveau, les mouvements ont alors pour origine l'action nerveuse elle-même, tandis que chez ceux possédant un cerveau, il faut y ajouter l'action de l'âme, prise ici avec le sens d'un psychisme intérieur et individuel. Selon Georges Canguilhem (1977), la notion de vitalisme est ainsi sous-jacente : « Le vitalisme c'est d'abord le refus simultané de toutes les théories métaphysiques concernant l'essence de la vie. Et c'est pourquoi la plupart des vitalistes se réfèrent explicitement à Newton comme au modèle du savant soucieux d'observations et d'expériences (…). Le vitalisme, ce serait simplement la reconnaissance de la vie comme ordre original de phénomènes et donc de la spécificité de la connaissance biologique. Nous sommes enclins à penser aujourd'hui que la physique newtonienne n'était pas si exempte de métaphysique qu'on le disait, pour s'en féliciter. »

L'hodologie nerveuse

Par hodologie, on entend l'étude des voies nerveuses. Elle progressa surtout grâce à François Magendie (1783-1855), titulaire de la chaire de médecine au Collège de France et maître de Claude Bernard, ce qui fit de lui également un pionnier de la physiologie expérimentale dont il institua d'ailleurs le premier laboratoire au sein de l'institution (1830). Il partit de l'intuition de la spécificité sensorielle qu'avait eue le chirurgien et anatomiste écossais sir Charles Bell (1774-1842) dans son Idea of a new anatomy of the brain (1811) et selon qui, si deux nerfs innervent une même partie du corps, ce n'est sûrement pas pour y produire le même effet, mais plutôt des effets différents : « Les nerfs de la sensibilité, les nerfs du mouvement et les nerfs vitaux sont distincts tout au long de leur course même si parfois ils se regroupent en un seul nerf. Il est admis que ni les objets, ni les images des objets n'entrent dans le cerveau. Il est donc impossible de croire qu'une couleur est transportée le long d'un nerf ou qu'une vibration (…) puisse être retenue dans le cerveau ; mais nous pouvons concevoir et nous avons raison de croire qu'une impression est faite à partir des sens externes quand nous regardons, écoutons, goûtons. Dans cette recherche, il est essentiel d'observer que bien que chaque organe des sens soit pourvu de la capacité de se modifier si on agit sur lui, chacun d'eux cependant est totalement incapable de recevoir une impression destinée à un autre organe des sens. » Magendie démontra en 1822 que la racine antérieure des nerfs rachidiens (qui partent de la moelle épinière) est motrice, alors que la postérieure est sensitive. Ses travaux sur l'image rétinienne, le sens olfactif, le liquide céphalo-rachidien et sur quelques grands faisceaux cortico-spinaux et spino-corticaux (reliant donc le cortex cérébral et la moelle épinière) firent l'objet de nombreux mémoires à l'Académie des sciences entre 1825 et 1842. Il s'intéressa aussi à l'action des substances chimiques sur la moelle épinière et proposa, le premier, l'injection directe dans le sang des sub-

stances médicamenteuses ce qui le conduira à jeter ainsi les bases scientifiques de la pharmacologie moderne, dont la création reste cependant attribuée à Mateo Orfila (1787-1853), le médecin français d'origine espagnole également fondateur de la médecine légale. Si Magendie découvrit ainsi la strychnine, le poison d'un arbuste tropical, et en introduisit l'utilisation en médecine, tout comme celle de la morphine, des iodures et des bromures, il commettra néanmoins des erreurs retentissantes par son refus obstiné de l'anesthésie générale à l'éther (1846) et au chloroforme (1847) et son rejet du microscope que son orgueil démesuré lui interdira de reconnaître ensuite. Mais son *Précis élémentaire de physiologie* (1813) sera traduit dès 1820 en allemand (par C.F. Hensinger) et en 1831 en anglais (par E. Milligan) et il comptera parmi ses auditeurs étrangers Moritz Schiff (1823-1896), considéré comme l'un des fondateurs de l'endocrinologie grâce à ses expériences d'ablation de la glande thyroïde chez le chien (1856) puis l'injection avec succès d'extraits thyroïdiens. Car la réputation de Magendie était immense, non pas tant pour avoir systématisé l'emploi de l'expérimentation que pour avoir plutôt été le propagandiste énergique, sinon brutal, d'une nécessaire conversion intellectuelle : en important en physiologie le sentiment de la « véritable science », il a donc imposé à ses contemporains l'idée que la médecine était encore à faire.

Magendie annonçait ainsi le triomphe de la Science et le mythe du Progrès, autrement dit l'avènement du scientisme : ce sera l'objet du prochain volet de l'histoire du cerveau, où figureront les références bibliographiques qui sont communes aux troisième et quatrième parties.

■

Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration

Quatrième partie : le triomphe du scientisme

Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux

Le triomphe du scientisme

La période postrévolutionnaire se caractérisa comme l'ère de la Science triomphante et de la mystique du Progrès, tel que l'incarna un Jules Verne, du moins jusqu'à ce que la philosophie bergsonienne mette en doute ses belles certitudes, annonçant sa progressive démystification au profit du thème du déclin amorcé par la rebarbarisation de l'Occident à travers les deux Guerres mondiales.

Contexte

Matérialisme, positivisme et scientisme vont former le socle culturel de toute la période postrévolutionnaire. Le premier, qui s'enracine dans le mécanisme atomistique grec (voir Biologie Géologie 2-2010, p.133), prendra sa forme moderne avec Karl Heinrich Marx (1818-1883) sous le nom de matérialisme dialectique, lequel exposa une genèse tentant d'expliquer scientifiquement, par l'affirmation du primat et de l'indépendance du réel par rapport à sa connaissance, comment la vie naît de la matière et comment l'esprit jaillit de la vie, par un enchaînement allant de l'impression sensorielle au réflexe et à l'intelligence animale, puis à la conscience, au langage et enfin à la pensée par le concept. Dans le *Livre I du Capital* (1867), Marx précise : « Le mouvement de la pensée n'est que la réflexion du mouvement réel, transporté et transposé dans le cerveau de l'homme. » Mais ce sera Lénine (1870-1924) qui le résumera au mieux dans le chapitre IV du *Matérialisme et empiriocriticisme* (1909) : « Le matérialisme admet d'une façon générale que l'être objectif (la matière) est indépendant de la conscience, des sensations, de l'expérience humaine. » De son côté, Auguste Comte (1798-1857), mathématicien et philosophe

➤ **Mots clés** : histoire des neurosciences, système nerveux, cerveau, méthodologie, médecine, chirurgie, culture, pensée, religion, philosophie

■ **Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux** : Maîtres de Conférences à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Laboratoire de neurobiologie et psychotraumatologie EA 4321, 28 Av. Valrose 06108 Nice Cedex 2

agnostique, créa le positivisme, selon lequel l'esprit humain doit renoncer à connaître l'être même des choses et se contenter de vérités tirées de l'observation et de l'expérience des phénomènes : c'est la positivité des faits ; est donc positif ce qui a un caractère de rigueur scientifique.

De la conjonction des deux courants de pensée va naître le matérialisme positiviste, qui deviendra rapidement une idéologie : la « science des idées », comme l'appellera le philosophe Antoine Louis Claude, comte Destutt de Tracy (1754-1836) dans ses Eléments d'idéologie (1803-05), a eu une immense influence sur toute la pensée scientifique moderne puisqu'on en retrouvera encore la trace jusque dans Le hasard et la nécessité (1970) de Jacques Monod (1910-1976). Le cerveau est désacralisé, l'encéphale est situé au même niveau que tous les autres organes du corps : il intègre des sensations et produit des pensées comme l'estomac reçoit des aliments et les digère ! L'âme immatérielle créée par Dieu est devenue un concept opératoire qui se cantonne de plus en plus dans le champ spécifique de la théologie en tendant à être ex-territorialisé du domaine légitime des sciences, ce qui explique l'affrontement entre deux courants de pensée : l'un qui tenait à l'observance de l'idéologie matérialiste stricte et qui sera affermi dans cet Institut de France que le Premier Consul saura si bien restituer ; l'autre étant issu du spiritualisme dont le représentant le plus farouche sera le philosophe contre-révolutionnaire Louis Gabriel Ambroise, vicomte de Bonald (1754-1840). Ainsi que le fera remarquer fort judicieusement Georges Lantéri-Laura (1987) : « Les uns croiront, trop tôt, trop savoir, les autres sauront faire croire qu'on ne savait rien. »

La figure d'Ernest Renan (1823-1892), historien, philosophe, archéologue et moraliste français, a illustré le lien qui existe entre positivisme et scientisme. Elu en 1878 à l'Académie française, nommé en 1883 administrateur du Collège de France, il paraissait incarner la France officielle du savoir. Qu'il traitât d'histoire, de morale ou de philosophie, de critique littéraire ou religieuse, qu'il méditât sur la politique ou la réforme de l'enseignement, qu'il adoptât la forme d'essai, de lettre, de drame, il y a toujours eu des constances dans l'œuvre de Renan : sa négation du surnaturel ; sa confiance en la Nature ; son affirmation de la primauté de l'esprit et du progrès de la raison, continu, malgré de passagers échecs. Son fidéisme positiviste éclata dans l'*Avenir de la science* (écrit en 1848-49, mais publié qu'en 1890), où il assigna à cette dernière la grandeur d'une religion nouvelle capable d'organiser rationnellement l'humanité. Cette métaphysique idéaliste se dévoilait déjà dans une lettre écrite en 1863 au chimiste Marcelin Berthelot (1827-1907), dont la *Correspondance* sera publiée en 1898 : la matière y est conçue comme animée d'un principe qui la pousse à sortir du chaos, à s'élever par étapes, jusqu'à l'apparition de l'humanité, qui donne à l'Univers la conscience et l'exemple d'une cause libre ; Dieu n'est pas, mais devient alors à travers et par le progrès humain qu'achèvera le triomphe de l'esprit sur la matière. Militant optimiste du scientisme, Berthelot a toujours été ému par l'exercice de la puissance humaine sur la nature, a rêvé d'une direction des sociétés humaines par les sciences et a assigné comme but à la vie « l'action scientifique dirigée vers notre développement individuel le plus complet. » Il pensait à un ordre productif dominant sa conception nouvelle de la raison collective. C'est la science qui procure morale et bonheur : « Le bonheur et le bien-être ne s'acquièrent

pas par de vaines paroles… On y parvient surtout par la connaissance exacte des faits, par la conformité de nos actes avec les lois constatées des choses ». On voit donc bien ici le lien évident entre positivisme et scientisme. Mais sa posture sans nuances finit par agacer : quand il débuta ses *Origines de l'alchimie* (1885) par « Le monde est aujourd'hui sans mystère », la protestation s'éleva parmi certains savants et esthètes, au point que l'essayiste Paul Bourget (1852-1935) parlera de « banqueroute de la science ». Ce qui n'empêchera pas, plus tard, le biologiste Jean Rostand (1894-1977) de déclarer : « Nous qu'on appelle les « scientistes »… Ce n'est pas parce que nous laissons l'homme dans la nature que nous avons pour lui moins de respect. » Replaçons-nous dans le contexte. Le triomphe de la théorie atomique avec la classification périodique des éléments (1869) du chimiste russe Dimitri Ivanovitch Mendeleïev (1834-1907) et l'avènement de la chimie organique autorisèrent l'espérance de déchiffrer les lois de la matière vivante, si bien que le matérialisme scientiste s'empressa de tirer des conséquences décisives de cet état provisoire du savoir. Ce sera l'ère des slogans du style « La pensée est au cerveau ce que l'urine est au rein », ou encore, suite à la découverte du rôle de la phosphorylation des protéines dans les mécanismes moléculaires de la mémoire connus sous le nom de potentialisation à long terme, « Sans phosphore, pas de pensée. » Mais les recherches moléculaires, nucléaires et atomiques vont bientôt se situer à une échelle de lecture où nos concepts usuels ne sont plus applicables. La découverte des particules de matière (quarks ; hadrons avec les protons, les neutrons, les baryons et les mésons ; leptons ; bosons ; gravitons et autres gluons) et la théorie des quanta vont finir par dématérialiser la matière, au point que le matérialisme philosophique actuel s'est disjoint de la matière.

Du positivisme est donc issu le scientisme. Si le terme n'est apparu qu'en 1911, il a désigné, plus qu'une simple doctrine, une croyance quasi religieuse dans les possibilités infinies de la science, qui prétend résoudre tous les problèmes philosophiques, et qui s'est forgée progressivement au cours de la seconde moitié du XIXe siècle. Pour preuve, la Science chrétienne (Christian Science), fondée par l'Américaine Mary Baker-Eddy (1821-1910). Longtemps considéré comme une secte protestante, ce mouvement, inspiré de son ouvrage *Science and Health with key to the Scriptures* (1875), est en réalité une nouvelle religion où les croyances scientistes se sont substituées aux croyances chrétiennes traditionnelles. La matière n'existe pas, pas plus que la naissance, la mort ou la maladie, pas plus que le corps lui-même. L'Homme est esprit. Il n'y a donc ni péché ni récompense pour la vertu. L'Eglise du Christ scientiste n'a aucun sacrement : le culte consiste dans la lecture de l'ouvrage de la fondatrice, nouvelle Bible, accompagnée de commentaires, de cantiques et de témoignages de guérison. On se trouve finalement à l'opposé du matérialisme ! Ce sera le temps des certitudes et des polémiques.

Découvertes

L'avancement des connaissances sur le système nerveux et le cerveau va reposer sur des grandes théories fonctionnelles, lesquelles vont favoriser l'émergence et le développement de multiples disciplines.

Localisationnisme et unitarisme

La querelle entre localisateurs et unitaristes engagée par la phrénologie de Gall et Spürzheim (voir Biologie-Géologie, 4-21010 : p.178) s'est accentuée. Bien que se heurtant en 1880 au principe de l'indépendance des fonctions à l'égard des localisations cérébrales de Friedrich Léopold Goltz (1834-1902), qui fut le premier titulaire de la chaire de physiologie à l'université allemande de Strasbourg après l'annexion de l'Alsace-Lorraine en 1870, et dont les chiens décérébrés (Der Hund ohne Grosshirn, 1892) ayant subi une ablation successive des deux hémisphères cérébraux (l'un des animaux survécut ainsi 18 mois) et les chiens avec sections de moelle infra- et supra-lombaire (Der Hund mit verkürztem Ruckenmark, 1896) resteront célèbres, la phrénologie a connu une diffusion digne d'une idéologie scientifique en proie aux préjugés et à l'obscurantisme, notamment outre-Manche, grâce à l'avocat écossais George Combe (1788-1858) qui abandonna sa profession pour se dédier corps et âme à son nouveau apostolat (voir doc. 5 dans Biologie-Géologie, 4-2010, p.180) : 29 sociétés phrénologiques allaient ainsi se constituer en très peu d'années rien qu'en Grande-Bretagne, avant d'atteindre le Nouveau Monde, Philadelphie en 1835, puis New York où le Phrenological Cabinet de Broadway devint un véritable musée de curiosités. De jeunes prosélytes américains inventèrent même la phrénologie ambulante, sillonnant les districts ruraux et capables de révéler en tâtant le crâne qui on était, qui on pouvait ou devait être : ce fut la grande époque de la « science des bosses » (dont il nous est resté l'expression avoir la bosse des maths par exemple). Un craniomètre d'un nommé Sarlandière sera même exposé en 1834 devant le roi Louis-Philippe qui ne manqua pas de s'émerveiller. De telles études cranioscopiques faites par des disciples trop zélés causèrent beaucoup de tort à Gall, lui valant même d'être chassé de l'Université de Vienne.

La phrénologie porta en germe d'autres dérives, notamment la course effrénée à la recherche de l'intelligence : le physiologiste allemand Rudolf Wagner (1805-1864) peut en être considéré comme l'initiateur. Ce professeur à Göttingen était persuadé que les esprits les plus brillants ont les cerveaux les plus importants. C'est lui qui autopsia le cerveau de Carl Friedrich Gauss (1777-1855), le célèbre mathématicien, astronome et physicien, véritable enfant prodige : son poids (1492 g) est proche de la moyenne générale, mais le nombre de circonvolutions cérébrales est très élevé ! Malgré les moqueries de Broca (voir ci-après), l'influence de Wagner sera déterminante et de nombreuses sociétés seront créées pour autopsier ceux qui le souhaitent. Le médecin new-yorkais Edward Anthony Spitzka (1876-1922), dirigera même l'Institut Daniel Baugh d'Anatomie pour les cerveaux exceptionnels, où il mesurera ceux de Beethoven, d'Abraham Lincoln, de Tourgueniev (2012 g) et aussi de Gall (qui ne pèse pas plus de 1198 g !). Il tiendra compte du développement de la région temporale gauche, de celui du corps calleux et établira toutes sortes de courbes. On lui a attribué cette sentence : « Le cerveau d'un génie de première classe comme celui de Friedrich Gauss est aussi éloigné de celui d'un bushman sauvage que ce dernier l'est du cerveau du singe le plus proche. » Ainsi naquit le « racisme scientifique » qui avait déjà pris prétexte avec *The Essay of classification* (1851) dans lequel le zoologiste et géologue américano-suisse Louis Agassiz (1807-1873) définissait un certain nombre de races humaines selon les zones climatiques et

suivant des critères de supériorité et d'infériorité, et qui s'illustra notamment avec l'anatomiste et médecin américain Robert Benett Bean (1874-1944). Ce dernier analysa au début du XXe siècle 103 cerveaux de Noirs et 49 de Blancs en Virginie et trouva chez les premiers un accroissement de la zone postérieure mais un moindre développement de la région frontale et de la partie antérieure du corps calleux, ce qui les fit classer entre les Blancs et les orangs-outans ! La polémique n'est toujours pas éteinte quand on pense que James Dewey Watson (né en 1928), le codécouvreur de la double hélice d'ADN, Prix Nobel de physiologie et de médecine en 1962, déclarait encore en octobre 2007 dans le Sunday Times à propos des Africains : « Toutes nos politiques de développement sont basées sur le fait que leur intelligence est la même que la nôtre, alors que tous les tests disent que ce n'est pas vraiment le cas. » Il y aura ainsi toujours des scientifiques pour croire que l'intelligence globale est proportionnelle à la taille du cerveau ! Les extravagances se sont donc poursuivies. A la mort de Lénine en 1924, avant que le corps ne soit embaumé, son cerveau est prélevé et confié à un Institut du Cerveau spécialement créé à Moscou pour l'occasion et on demanda de l'étudier au célèbre neurologue germano-danois Oskar Vogt (1870-1959), connu par ses travaux de cyto-architectonie du cortex cérébral et fondateur à Berlin en 1900 d'un centre de recherche neurologique (la Neurologische Zentralstation qui deviendra en 1902 le Neurologische Laboratorium rattaché à l'Université) grâce au soutien financier de la famille d'industriels Krupp. En 1929, Vogt publia un article où il rapporta l'existence d'une septième couche de neurones pyramidaux (entre la troisième et la quatrième couche) dans le cortex cérébral du cerveau du défunt fondateur de l'Union Soviétique et qui aurait été le support physiologique de sa pensée particulièrement développée : tout le monde fut déçu, y compris… la propagande soviétique !

La cyto-architectonie, discipline d'étude des types cellulaires, de leur disposition et de leurs caractéristiques au sein du cerveau, sera ainsi balisée grâce notamment au neurologue allemand Korbinian Brodmann (1868-1918) qui donna en 1909 une cartographie cérébrale de 52 aires, toujours en usage d'ailleurs, en reliant chaque région aux données fonctionnelles obtenues par lésions ou stimulations et qui définit les six couches histologiques du cortex cérébral et leur épaisseur respective en fonction de ces aires. Son confrère autrichien d'origine roumaine Constantin Alexander Economo, baron von San Serff (connu sous le nom de von Economo : 1876-1931), soignant en 1916 les traumatisés crâniens à Vienne, mit en évidence les destructions neuronales à l'origine de l'encéphalite léthargique, une pathologie connue aujourd'hui comme étant d'origine auto-immune, mais qu'on croyait, à l'époque, due au virus de la grippe. Il publia en 1925 (avec G.N. Koskinas) un nouvel atlas sur la cyto-architectonie du cerveau. Tout cela aboutira à de subtiles distinctions dans le cortex cérébral (allocortex, isocortex, koniocortex, néocortex) et à des bijections parfaites qui verront fleurir une trentaine d'homonculi, de véritables cartographies construites à partir des représentations du corps physique par le cerveau, soit sensorielles soit motrices et tantôt situées à la surface du cortex, tantôt dans les profondeurs cérébrales : c'est en stimulant, en cours d'interventions neurochirurgicales sous anesthésie locale, le cortex sur des zones biens définies chez des patients épileptiques éveillés, produisant alors des sensations ou des mouvements, ainsi que l'évocation de souvenirs qui semblaient définitivement perdus, que le

neurochirurgien américain Wilder Graves Penfield (1891-1976), créateur de l'Institut Neurologique de Montréal, réalisa ainsi le premier homonculus sensoriel puis moteur de surface du cortex.

L'antique concept d'un siège de l'âme ou d'un organe du sens commun s'était donc démembré sous les coups infligés par la phrénologie. Et si les Mémoires d'outre-tombe (1848) renferment ainsi une violente diatribe contre son fondateur, Franz Josef Gall, ce n'est pas seulement anecdotique, mais c'est parce que Chateaubriand avait bien compris que la physiologie du cerveau n'était pas d'elle-même consonante avec le Génie du Christianisme (1802). D'autant qu'en 1876, dans son ouvrage *The function of the brain*, le neurologue britannique sir David Ferrier (1843-1928) apportera la preuve expérimentale des localisations cérébrales à l'aide de l'excitation électrique du cortex, véritable révolution dans la technique d'exploration du cerveau qui avait été introduite par le neuropsychiatre allemand Eduard Hitzig (1839-1907) : inspiré par les travaux du physicien italien Luigi Galvani (1737-1798) qui, à Bologne en 1786, avait constaté qu'une pointe de scalpel approchée des nerfs cruraux d'une grenouille fraîchement tuée provoque une contraction violente - et malgré le violent rejet par Alessandro Volta (1745-1827), l'inventeur de la pile électrique, de l'idée d'un courant électrique d'origine biologique, mais qui sera finalement mis en évidence à Pise par Carlo Matteucci (1811-1868) à l'aide du galvanomètre construit en 1825 par Léopoldo Nobili (1784-1835) - ce médecin de l'armée prussienne osa appliquer un faible courant électrique sur le cerveau de soldats blessés dont le crâne avait été fracturé par des projectiles, induisant ainsi de leur part des mouvements involontaires. En 1870, assisté de l'anatomiste Gustav Fritsch (1837-1927), Hitzig identifia la « bande motrice », une zone de tissu cérébral dans le lobe frontal postérieur contrôlant différents muscles du corps, en délivrant, au moyen d'une fine électrode, un courant électrique sur le cortex cérébral exposé d'un chien non anesthésié, une expérience qu'il effectua à son domicile, car l'Université de Berlin, où il était établi alors comme médecin, n'autorisait pas de telles expérimentations. Leur ouvrage conjoint *Über die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns* (De l'excitabilité électrique du cerveau, 1870) consacra ainsi la première étude de localisation cérébrale utilisant l'électricité. Ces découvertes ne firent pourtant pas changer les oppositions entre monistes et dualistes : l'âme est toujours située dans le cerveau, mais dans les zones associatives où se réfugient les pouvoirs surnaturels de la pensée. A Zurich, Hitzig eut pour élève un jeune émigré russe, Constantin von Monakow (1853-1930), qui dirigera l'Institut d'anatomie cérébrale de cette université suisse et prendra le contre-pied de son maître : adversaire farouche du localisationnisme, il proposera un fonctionnement dynamique du cerveau avec son concept de *diachisis* (je sépare à distance en grec) et de localisation chronogène de la fonction, mettant en valeur l'idée d'une évolution temporelle (une fonction particulière peut être abolie un temps par une lésion rarement limitée à une seule structure et qui a donc des effets à distance).

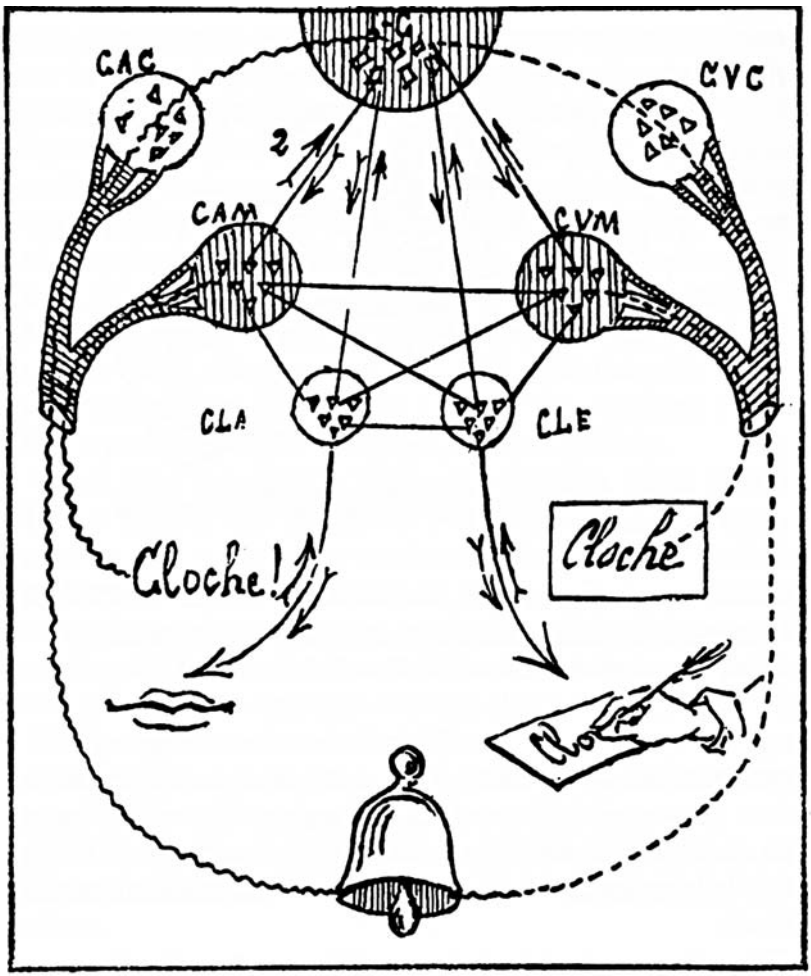
Pourtant, dès 1861, on aurait pu penser que la polémique qui sévissait entre localisateurs et unitaristes n'avait plus de raison d'être, lorsque Paul Broca (1824-1880), chirurgien à l'hospice de Bicêtre, décrivit le cas d'un patient aphasique (on parlait à l'époque d'aphémie pour désigner la perte du langage) surnommé M. Tan (car il ne

prononçait correctement que deux mots : tan, justement, qu'il avait tendance à répéter, et Nom de Dieu !, alors qu'il comprenait tout ce qu'on lui disait) et présentant, à l'autopsie, une destruction du pied de la troisième circonvolution frontale (situé entre le sourcil et la tempe) de l'hémisphère cérébral gauche (appelée depuis aire ou circonvolution de Broca et responsable de l'articulation des mots : l'aphasie de Broca est donc une aphasie de production). Le cerveau autopsié se trouve aujourd'hui encore au musée d'anatomie de la Faculté de médecine des Cordeliers à Paris et qui avait été fondé par le chirurgien de Louis XVIII, Guillaume Dupuytren (1777-1835). Le terme d'aphasie en remplacement de celui d'aphémie fut suggéré dès 1862 par le neurologue Armand Trousseau (1801-1867), qui lança cette célèbre formule : « L'aphasique boitera toujours de l'intelligence. » En 1863, Broca proposa 8 autres cas de déficits frontaux, toujours de l'hémisphère gauche. Même si une telle asymétrie le laissait perplexe : « S'il fallait admettre que les deux moitiés symétriques de l'encéphale ont des attributions différentes, ce serait une véritable subversion de nos connaissances en physiologie » ; il soutenait néanmoins qu'on peut deviner les localisations cérébrales et la forme du cerveau d'après le crâne dans son *Mémoire sur la topographie cranio-cérébrale* (1876). D'autant, qu'il fut le fondateur de l'anthropologie. En effet, faisant partie de la commission chargée en 1847 d'examiner les ossements trouvés lors des fouilles de l'ancienne église des Cordeliers, il se passionna dès lors pour la craniologie, créa en 1859 la Société d'anthropologie (rapidement imitée à Londres, Madrid et Moscou) qui deviendra l'Ecole d'anthropologie, puis la Revue d'anthropologie en 1872. L'examen des crânes préhistoriques lui permit de distinguer ceux qui ont été trépanés ante- ou post-mortem (respectivement avec ou sans cicatrice de repousse osseuse sous forme de bourrelet : voir Biologie-Géologie, 2-2010, p.129) et sa nomenclature des mensurations crâniennes sera universellement adoptée. Broca confirma ainsi l'hypothèse sur la localisation frontale du langage qui avait été déjà exposée par le neurologue français Jean-Baptiste Bouillaud (1796-1881) dans son Traité clinique et physiologique de l'encéphalite ou inflammation du cerveau (1825) : « …le principe nerveux qui dirige les mouvements de la parole réside dans les lobules antérieurs du cerveau, d'où il suit que dans la même partie doit siéger également non pas une espèce de mémoire seulement mais l'organe du langage articulé dont la mémoire des mots n'est qu'un attribut. » Appartenant à la Société de phrénologie, Bouillaud eut alors beaucoup de détracteurs : Gabriel Andral (1797-1876), fondateur de la science hématologique et membre de l'Académie de médecine, décrivit 16 cas de perte du langage provenant de lésions postérieures, au point que Bouillaud croira à l'existence de deux zones cérébrales différentes, l'une pour la création des idées, l'autre pour les mouvements nécessaires à l'articulation des mots ; l'anatomiste et chirurgien Alfred Velpeau (1795-1867), un autre académicien, inventeur du bandage qui porte son nom, présenta en 1843 le cas d'un patient particulièrement bavard malgré une tumeur cancéreuse massive dans les lobes frontaux. Il est vrai que, pour les unitaristes, la perte de la parole n'est qu'un fait général d'un grand nombre de maladies.

En 1874, c'est au tour du neurologue et psychiatre polonais émigré en Allemagne, Carl Wernicke (1848-1905), de présenter à l'hôpital de Breslau un autre type d'aphasie, dite de conduction (perte de la lecture à haute voix) pour une atteinte corticale localisée dans le lobe temporal supérieur et le tissu pariétal adjacent

(appelé depuis aire de Wernicke). En 1877, Adolf Kussmaul (1822-1902), clinicien à l'Université de Strasbourg, devenue allemande, définit l'aphasie comme une fonction symbolique et parla d'asémie. Il divisa la zone de Wernicke en deux centres distincts, l'un intéressant les images verbales auditives et l'autre, les images visuelles des mots, respectivement atteints dans ce qu'on appelait la surdité et la cécité verbale. Le point de départ de l'acte de langage n'est donc pas moteur, mais sensoriel. La cartographie cérébrale du langage sortait ainsi de l'ombre et l'aphasiologie se développa au point de rendre possible la prévision de sites anatomiques correspondant à des syndromes qui n'étaient pas encore décrits ! Mais cette localisation du langage n'alla pas sans de très fortes oppositions, dont celle menée par le neurologue français Pierre Marie (1853-1940), ancien interne de Broca et de Charcot, titulaire de la chaire d'anatomie pathologique à la Faculté de Médecine de Paris, cofondateur de la Revue de Neurologie (1893) et de la Société française de Neurologie (1899), qui se refusera toujours à considérer la vie mentale comme réductible au seul langage, lui-même réductible à des centres d'images localisés. De même, le neurologue anglais Jackson (voir ci-après), dans un débat homérique avec Broca, lança en 1866 : « Je pense (…) que la soi-disant « faculté » du langage n'existe pas et que les lésions au voisinage du corps strié produisent des troubles de l'expression (verbale, écrite, par mimique, etc…) et ceci en grande partie parce qu'il s'agit des voies centrifuges qui vont des hémisphères aux organes que la volonté peut mettre en mouvement. »

Rapidement, la neurologie passa de l'état métaphysique des fonctions psychiques, où elle se trouvait encore, à une optique beaucoup plus positiviste. Jean-Martin Charcot (1825-1893), qui ouvrit en 1882 à l'hôpital parisien de la Salpêtrière la plus grande clinique neurologique d'Europe attirant les étudiants de toutes les parties du monde (le plus célèbre sera Freud qui traduira ses cours en allemand), doit son immense renommée à l'utilisation de la « méthode anatomo-clinique », à son étude de l'atrophie musculaire (ataxie locomotrice) et à l'identification de bon nombre de centres cérébraux responsables de fonctions nerveuses spécifiques qu'il exposa dans ses monumentales *Leçons sur les maladies du système nerveux* (5 volumes publiés de 1872 à 1883). Dans ses cours de 1883 (publiés en 1884), il proposa le célèbre « schéma de la cloche » (*fig. 7*) pour justifier la théorie associationniste : on y voit une cloche qui tinte, les trajets suivis par les influx nerveux entre l'audition de la cloche et la compréhension par le sujet du tintement, et quatre centres cérébraux (le siège de la mémoire des mouvements d'articulation des mots ; de la mémoire auditive des mots ; de leur mémoire visuelle ; de celle des mouvements de la main et des doigts) dont les lésions respectives déterminent l'aphasie motrice, la surdité verbale, la cécité verbale et l'agraphie. Il put ainsi concevoir une séparation anatomique entre le mot et l'idée : « Le mot et l'idée vivent séparés dans le cortex de notre cerveau et dans des circonstances déterminées se rencontrent et s'accouplent. (…) un grand nombre d'expériences et de faits démontrent qu'on peut prononcer des mots sans les penser, sans pouvoir parler (…). L'idée et le mot ne peuvent s'accoupler. C'est ça un exemple d'amnésie physiologique. » Jules-Joseph Déjerine (1849-1917), médecin à l'hôpital de la Charité, puis à Bicêtre, enfin à la Salpêtrière où il reprendra le service de Charcot, a laissé une œuvre considérable qui reflète sa contribution majeure dans le domaine de l'anatomie et de la pathologie



7. Schéma de la cloche par Charcot (explication : voir texte)

organique du système nerveux : les maladies fonctionnelles (psychonévroses, neurasthénie), les troubles du langage (troubles de l'écriture, cécité verbale), les dégénérescences cérébrales et encéphaliques (l'incoordination, le syndrome thalamique). On lui doit également la connaissance exacte du trajet intracérébral des fibres du pied du pédoncule du cerveau, l'étude anatomo-physio-pathologique de la couche optique (syndrome de Déjerine), la description du syndrome sensitif cortical, la mise en évidence de la névrite interstitielle hypertrophique de l'enfance et de l'atrophie olivo-ponto-cérébelleuse (une pathologie du cervelet), sans parler de ses travaux sur le tabès, la sclérose en plaques, la syringomyélie (une atteinte médullaire), diverses névrites et myopathies (syndrome de Déjerine-Landouzy) et les fonctions du thalamus.

En Allemagne, il faut souligner l'apport de Wilhelm Heinrich Erb (1840-1921), qui dirigea la Clinique de Neurologie, nouvellement créée, de l'Université

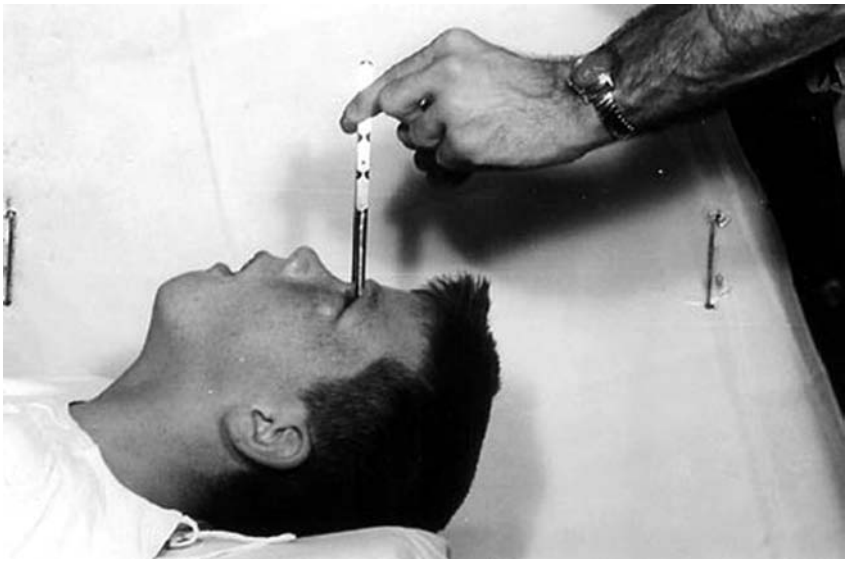
d'Heidelberg. Sa contribution a surtout porté dans le domaine des affections musculaires : grâce aux techniques de l'électrodiagnostic, il démontra l'irritabilité accrue des nerfs dans le tétanos (phénomène d'Erb) ; il observa la dégénérescence des fibres nerveuses dans le *tabes dorsalis*, une affection dont il identifia en 1875 l'origine syphilitique, et laissa son nom à la paraplégie spinale syphilitique; il distingua enfin en 1879 les formes bulbaires de la myasthénie. Son compatriote, le psychiatre berlinois Carl Friedrich Otto Westphal (1833-1890) fit progresser la neurologie, la neuro-anatomie et la neuropathologie : en 1871, il inventa le terme d'agoraphobie pour désigner le sentiment de terreur éprouvé par certains de ses patients devant se rendre sur les places publiques de la ville ; en 1875, il décrivit le phénomène de facilitation des réflexes tendineux par des contractions volontaires d'autres muscles que celui étudié, puis signala l'absence de réflexes rotuliens dans le tabes dorsalis (signe de Westphal) ; en 1883, il identifia une nouvelle maladie distincte de la sclérose en plaques par justement son absence de plaques à l'autopsie, la pseudo-sclérose (appelée depuis 1912 dégénérescence hépato-lenticulaire) ; en 1887, avec son collègue Ludwig Edinger (1855-1918), il décrivit le noyau accessoire du nerf oculomoteur dans le tronc cérébral (nommé depuis noyau d'Edinger-Westphal), pour ne citer que ses principales découvertes. Son fils, Alexander Carl Otto Westphal (1863-1941), également psychiatre, contribua à la description de la réaction pupillaire neurotonique (syndrome de Westphal-Piltz).

En Angleterre, brilla le nom de John Hughling Jackson (1835-1911), médecin au tout nouveau National Hospital for Nervous Diseases de Londres. Connu pour ses travaux sur l'épilepsie et l'aphasie, il ne cessa de s'interroger, en cette époque des grands débats sur les localisations cérébrales, rejetant à la fois la métaphysique et le matérialisme, sur les centres nerveux supérieurs (highest level centers of the nervous system), pensant que les affections du système nerveux ne peuvent se comprendre qu'en se référant aux niveaux de l'évolution de ses fonctions, laquelle implique un progrès allant du plus automatique au moins automatique : ce sont les structures cérébrales les plus élevées, modulées par les acquisitions les plus récentes (elles sont donc les plus fragiles dans le développement des espèces et dans celui de l'individu) qui exercent un contrôle inhibiteur sur les structures les moins élevées. Cette conception hiérarchique et totalisante du système nerveux central fera concevoir les maladies nerveuses comme un processus de dissolution à rebours, réduisant le comportement à ses processus les plus automatiques, les niveaux inférieurs s'émancipant des niveaux supérieurs de contrôle devenus inopérants. En 1873, dans la revue The Lancet, il proposa une conception dynamique de la topographie motrice corticale : « La quantité de substance grise corticale varie non pas tant avec la taille des muscles ou de la région du corps qu'avec le nombre de mouvements de cette partie. Par conséquent, les petits muscles des doigts seront représentés par beaucoup plus de substance grise dans le cortex que ne le seront les volumineux muscles du bras, parce que les premiers sont utilisés dans des mouvements plus nombreux, plus distincts et plus spécialisés. Une différenciation plus grande de la fonction implique une représentation plus grande dans le cerveau. » De son côté, le Français Théodule Armand Ribot (1839-1916), philosophe fondateur de la Revue philosophique (1876) et titulaire de la chaire de psychologie expérimentale et comparée au Collège de France (1888), transforma, dans La Psychologie anglaise

contemporaine (1870), les conceptions jacksoniennes d'intégration conservatrice de structures et de fonctions en une doctrine hiérarchique psychophysiologique de la personnalité, en considérant notamment que la mémoire est par essence un fait biologique et par accident un fait psychologique (se rapprochant ainsi des critiques bergsoniennes). Le mérite de Ribot a été d'avoir distingué de la philosophie la psychologie en tant que science de faits psychiques se présentant sous deux aspects, interne (conscient) et physiologique et d'avoir ajouté, à la méthode d'introspection peu scientifique, l'observation et la mesure des mécanismes nerveux, mais il a eu tendance à trop réduire les phénomènes psychologiques à leurs expressions physiologiques, excepté dans La Psychologie des sentiments (1896), où il mit la priorité sur l'élément affectif.

L'aspect affectif deviendra également déterminant dans le domaine de la neurochirurgie quand Antonio Caetano de Abreu Freire dit Egas Moniz (1874-1955), neurologue portugais, également politicien (il a été député, ministre et ambassadeur), historien, critique littéraire et compositeur, initiateur de l'angiographie cérébrale (examen radiologique de la vascularisation du cerveau) et inventeur de la lobotomie préfrontale ou leucotomie (ce qui lui valut l'attribution du Prix Nobel de médecine en 1949), se fit en 1937 le promoteur de la psychochirurgie : en supprimant, chez certains psychotiques, dépressifs ou obsessionnels, les connexions de substance blanche entre le thalamus, une structure profonde du cerveau, et le cortex préfrontal, si les symptômes (anxiété, agitation pathologique) persistent malgré tout, leur répercussion sur le psychisme (obsessions intenses, douleurs irréductibles, etc…) en est pas moins fortement diminuée. Ce genre de traitement, qui a connu un développement considérable (*fig. 8*) malgré ses effets secondaires et des réserves éthiques, a été quasiment abandonné, car il est irréversible et laisse le malade très diminué (séquelles neurologiques et cognitives : nausées, désorientation, désintéressement, passivité émotionnelle, rigidité des conduites et des jugements) ; de plus, il a été supplanté par la chimiothérapie depuis que la chlorpromazine, le tout premier médicament neuroleptique, a été découverte en 1952 par le Français Henri Laborit (1914-1995).

Toutes ces positions globalistes vont cependant présenter une faille de taille : la conception intégrative du système nerveux central, essentiellement due à l'ouvrage *The Integrative action of the nervous system* (1906) de sir Charles Scott Sherrington (1857-1952), neurophysiologiste anglais lauréat du Prix Nobel de physiologie en 1932, créateur du concept de proprioception (en découvrant au cours de l'étude des réflexes spinaux l'existence de fibres sensorielles venant des muscles eux-mêmes) et dont l'originalité consistait à mieux distinguer entre les appareils nerveux d'intégration des mouvements à exécution immédiate (moelle épinière) et ceux d'intégration des mouvements différés (cortex cérébral), une vue qui n'est hélas plus de mise de nos jours, la structure du thalamus ou celle du cervelet par exemple étant par trop complexe pour correspondre à ce schéma si clair. De plus, l'introduction de son ouvrage laissait apparaître le réflexe comme un pur artifice : « Dans la variété de ces coordinations, un réflexe peut être isolé comme s'il était mis à part des autres actions réflexes. C'est le réflexe simple. Un réflexe simple est probablement une pure conception abstraite car toutes les parties du système nerveux sont connectées entre elles et chacune des parties n'est probablement pas capable de réagir sans



8. Une lobotomie transorbitaire dite « au pic à glace », pratiquée le 16 décembre 1960 sur Howard Dully, C'était un garçon de 12 ans dont les parents souhaitaient modifier la personnalité (archives de l'Université George Washington : bibliothèque Gelman).
Mise au point en 1946 par le psychiatre américain Walter Jackson Freeman (1895-1972), cette technique ambulante consistait à introduire un instrument effilé (le « pic à glace ») le long de l'orbite oculaire jusqu'au lobe frontal du cerveau et, par un mouvement d'aller-retour, à détruire les fibres blanches le reliant aux structures sous-corticales : elle évitait toute trépanation et ne demandait qu'une dizaine de minutes (jusqu'à 25 patients ont pu être ainsi lobotomisés en une seule journée par Freeman). Ce dernier sillonna 23 états des U.S.A. proposant ses services aux familles et opéra 2500 patients, dont les troubles variaient des maux de tête sévères aux pulsions suicidaires, jusqu'en février 1967, quand son ultime patiente, Helen Mortenson, décéda d'une hémorragie cérébrale après l'intervention, ce qui mit un point final à sa carrière.

affecter et sans être affectée par les autres parties d'un système toujours en activité. Mais le réflexe simple est commode, sinon une probable fiction. » Embarrassé toutefois par sa position métaphysique dualiste exprimée plus ou moins clairement dans son *Brain and Mind* (1859), Jackson s'est toujours défendu de confondre le cerveau (brain) et l'esprit (mind) au profit d'un principe de concomitance, qui, s'il peut être appliqué sans difficulté aux dissolutions locales du système nerveux (pathologies neurologiques), l'est plus difficilement aux cas des facteurs de folie (troubles mentaux). Néanmoins, la complémentarité qu'il a décrite de la condition négative (la dissolution fonctionnelle de l'intégration assurée par le système nerveux central) et de la manifestation positive (les symptômes qui se manifestent sous forme de délires, d'affects, d'hallucinations, de croyances, libérés du contrôle des centres nerveux supérieurs) vont permettre de s'affranchir du dualisme postulé par l'opposition du psychique (psychogenèse, psychanalyse, modèle psychodynamique) et du physique (pathologie cérébrale, modèle mécaniste) pour repenser entièrement la psychiatrie et proposer un modèle organodynamique de synthèse entre les symptômes psychiatriques et les données neurophysiologiques (une fonction défaillante pouvant exagérer le développement d'une autre jusqu'à devenir

pathogène), tel qu'il sera défendu par le psychiatre et psychanalyste français Henri Ey (1900-1977), considéré ainsi comme le propagateur zélé du néojacksonisme.

Enfin, la controverse qui avait également contaminé la psychiatrie à propos du mécanisme unique ou pluriel du processus d'aliénation (voir Biologie-Géologie, 4-2010, p.182 à 184) sera close à son tour. En effet, la pluralité des pathologies mentales trouvera un support physiologique avec la découverte des maladies neurodégénératives. 1906 représente à cet égard une date marquante avec la description par le psychiatre allemand Alois Alzheimer (1864-1915) du cas d'une démente (amnésie, paranoïa, apathie, troubles du langage et incontinence) dont le cerveau, autopsié grâce à la technique histologique de son compatriote Max Bielschowsky (1869-1940), dérivée de celle de son maître, le neurologue Franz Nissl (1860-1919) - lequel avait mis au point une coloration des éléments du réticulum endoplasmique rugueux dans le tissu nerveux (connus depuis sous le nom de corps de Nissl) -, montrait des dégénérescences fibrillaires et des plaques séniles, ces dernières ayant été cependant déjà décrites en 1892 par le neurologue roumain Georges Marinesco (1864-1938) et en 1898 par son confrère autrichien Emil Redlich (1866-1930). Il n'empêche que cette démence fut appelée maladie d'Alzheimer en 1909 dans la huitième et dernière édition du *Traité de psychiatrie* de l'Allemand Emil Kraepelin (1856-1926). Ce dernier, surnommé le « Linné de la psychiatrie » car il créa, par ces observations faites lors de ses voyages, la psychiatrie comparée, est demeuré célèbre pour sa nosographie (classification) des maladies mentales fondée sur des critères scientifiques : en s'attachant sur leur étiologie (origine), il distingua ainsi les maladies exogènes dues à des causes extérieures et par un événement survenu au cours de la vie du malade, généralement guérissables, et les maladies endogènes ayant pour origine des changements de la personnalité provenant de facteurs psychologiques soit transmis héréditairement soit existant chez le patient et associé à un facteur extérieur ; ces dernières sont le plus souvent incurables et conduisent à la déchéance complète du malade, nécessitant un enfermement asilaire définitif. Une vue bien pessimiste quant aux possibilités thérapeutiques ! Elève de Kraepelin, le neurologue Alfons Maria Jakob (1884-1931) précisa la sclérose en plaques (une maladie inflammatoire provoquant la démyélinisation de la substance blanche dans l'encéphale et la moelle épinière) et les troubles moteurs de l'ataxie (du grec *ataxia* : désordre) héréditaire décrite en 1863 par son compatriote Nikolaus Friedreich (1825-1882). En 1920, avec le psychiatre Hans-Gerhard Creutzfeldt (1885-1964), il décrivit une étrange maladie avec cachexie (maigreur extrême et détérioration de l'état général) et troubles de la coordination : l'autopsie révéla une dégénération étendue de la substance grise et une gliose astrocytaire (les astrocytes sont des cellules gliales assurant le développement de l'architecture cérébrale), au point que le cerveau semble criblé de trous comme une éponge, d'où le nom d'encéphalopathie spongiforme (appelée par la suite maladie de Creutzfeldt-Jakob). Le neuropathologiste islandais Björn Sigurdsson (1913-1959) attribua la cause de cette maladie à un virus venant des moutons et responsable de leur pathologie appelée tremblante. Depuis 1996, une nouvelle variante a fait son apparition : la maladie de la vache folle.

L'électrophysiologie et la transmission du signal

L'école allemande de physiologie apporta une contribution majeure dans l'étude de la transmission du signal nerveux. Emil Du Bois-Reymond (1818-1896), un Berlinois né dans une famille franco-suisse huguenote émigrée, étudia la théologie, la philosophie, la botanique, la géologie, les mathématiques avant de se diriger vers la médecine. Il est considéré comme l'un des créateurs de l'électrophysiologie quand il publia ses *Untersuchungen über tierische Elektrizität* (Recherches sur l'électricité animale, 1848). Travaillant sur les mécanismes physiques, moléculaires et atomiques et sur les forces vitales, il établit les lois de la contraction musculaire. Il inventa des instruments (dont un galvanomètre particulièrement sensible) ainsi que des techniques comme le chariot inducteur et surtout l'électrode impolarisable qui lui permettra de mettre en évidence, sous le nom de variation négative, l'existence d'un potentiel d'action générateur du courant d'action dans les nerfs. Plus discutable sera en revanche l'énoncé de sa loi : le courant électrique continu n'excite le nerf que dans ses instants de variation. Cette loi d'excitation sera reprise par Louis Lapicque (1866-1952), médecin militaire et neurophysiologiste français, qui n'aura de cesse de formuler des lois simples d'explications au détriment de la complexité des principes du vivant et qui seront aussi sujettes à caution. C'est ainsi que, concernant l'excitabilité neuromusculaire, il proposera en 1909, à partir du modèle, devenu classique en électrophysiologie, du nerf sciatique et du muscle gastrocnémien de grenouille, la durée de passage du courant électrique entre les deux éléments de la préparation comme mesure du temps physiologique. Cette durée, appelée la chronaxie, aurait une intensité égale au double de celle nécessaire pour exciter la préparation, dont le seuil d'excitation sera nommé la rhéobase. Croyant au tout électrique dans le système nerveux, il lancera une théorie nouvelle, l'isochronisme, selon laquelle « le muscle strié a même chronaxie que son nerf moteur. » De par sa position dominante (il a été à la fois membre de l'Académie de Médecine et de l'Académie des Sciences), Lapicque va stériliser la recherche française en électrophysiologie jusqu'après la Seconde Guerre mondiale.

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), professeur d'anatomie et de physiologie, puis de physique à Berlin, montra lui aussi un savoir encyclopédique (mathématiques, thermodynamique, hydrodynamique, électrodynamique, physique météorologique, physiologie, acoustique, optique physiologique, médecine, philosophie) accompagné d'un don remarquable pour la vulgarisation scientifique. Son mémoire *Über die Stoffverbräuche in der Muskelaktion* (La consommation de matière dans l'action musculaire, 1845), qui porte sur la notion de chaleur animale, va l'amener à des découvertes faisant de lui le « père » de la neurophysiologie. Dans sa thèse de doctorat en médecine (*De fabrica systematis nervosi evertebratorum*), il établit la relation entre cellules et fibres nerveuses. Son autre mémoire *Über die Erhaltung der Kraft* (La conservation de la force, 1847) ayant traduit son évidente idée de l'unité et de l'intelligibilité des phénomènes, il étendit aux fibres nerveuses et à leurs récepteurs périphériques, dans la membrane basilaire ou la rétine, la spécificité déjà attribuée aux nerfs. Au début des années 1850, il mit ainsi au point une méthode pour calculer la vitesse de propagation de l'influx nerveux dans les fibres en adaptant le galvanomètre avec lequel le physicien

français Claude Pouillet (1790-1868) avait mesuré en 1844 l'intensité d'un courant électrique sur de très courtes durées : grâce à son myographe, Helmholtz a pu déduire le temps séparant la délivrance d'une décharge par une bobine tenue dans la main droite d'un sujet, de sa réaction musculaire consistant à serrer un levier avec la main gauche. Ce qui lui vaudra enfin la considération de l'Académie des Sciences de Paris. Il s'intéressa également à la perception sensorielle et inventa l'ophtalmoscope. Dans son *Traité d'optique physiologique* (1856), il clarifia le phénomène de l'accommodation, expliqua la vision binoculaire et la vision colorée : « La lumière et les sensations de couleurs sont seulement des symboles pour désigner des rapports réels. » Sa contribution à la théorie de l'acoustique fut aussi remarquable, tant du point de vue physique que biologique. A l'époque, deux acousticiens s'opposaient sur la transmission des sons : le physicien allemand Georg Simon Ohm (1789-1854) proposait une transmission par ondulation, tandis que son confrère et compatriote Ludwig Wilhelm August Seebeck (1805-1849) admettait plutôt une nature pulsatile des sons. Helmholtz mit alors au point un instrument, le résonateur, pouvant isoler une vibration sonore d'une fréquence spécifique, et grâce auquel il émit l'hypothèse que l'oreille reconnaît le timbre d'un son en percevant les intensités des harmoniques. Faisant appel au mathématicien français Joseph Fourrier (1768-1830), il construisit un instrument capable de produire des sons purs, continus et audibles, une sorte d'oreille artificielle qui se comporte comme un analyseur de Fourrier. Adoptant alors la même démarche qu'en optique, il montra dans sa *Théorie des sensations de son* (1863) comment le son parvient jusqu'aux nerfs auditifs : une fibre de Corti – du nom de l'anatomiste italien Alfonso, baron de Corti (1822-1876) qui réalisa en 1852 une description microscopique très complète de la cochlée - ne vibre pas seule, mais en simultanéité avec d'autres fibres voisines et la perception de la hauteur du son dans l'oreille est due à l'intensité de cette vibration simultanée. Mais Helmholtz sous-estima le rôle des structures ciliaires de l'oreille interne : il faudra attendre le médecin allemand Victor Hensen (1835-1924) pour suggérer que les soies de la membrane basilaire sont capables de discriminer entre les fréquences sonores et son compatriote Ernst Julius Richard Ewald (1855-1921), professeur de neurologie à Strasbourg pendant la domination prussienne, pour admettre que les tons aigus stimulent la région basale de la membrane basilaire et les tons graves l'ensemble de cette membrane (ce qui est faux puisqu'on sait maintenant qu'il s'agit de la zone apicale), une théorie également défendue par William Rutherford (1839-1899) à Edimbourg. Traitant ensuite des phénomènes de consonance et de dissonance, Helmholtz aborda le domaine de l'esthétique musicale et les rapports entre la physiologie et le sens artistique. Il construisit enfin une série de résonateurs à air de forme sphérique ou cylindrique pour fabriquer un analyseur de son lui permettant d'étudier le mode de production de la voix humaine. Il terminera sa vie comme président de l'Institut physico-technique de Berlin.

Si ce dernier est ainsi arrivé à mesurer la vitesse de conduction dans les nerfs, autour de 60 mètres par seconde, ce qui paraissait relativement lent à une époque où l'on imaginait l'activité nerveuse instantanée, se posait alors la question de la conduction dans le cerveau : quel est le temps nécessaire pour produire la pensée ? Une nouvelle discipline, la psychométrie, va ainsi consacrer toute la psychologie allemande. L'astronome germano-suisse Adolph Hirsch (1830-1901), directeur de

l'Observatoire de Neuchâtel, avait en effet remarqué chez ses confrères observant le ciel que certains mettaient beaucoup moins de temps que d'autres à signaler une étoile. En 1861, dans une communication à la Société des Sciences de Neuchâtel, intitulée *Expériences chronoscopiques sur la vitesse des différentes sensations et de la transmission nerveuse*, il définit le temps physiologique en utilisant le chronoscope que l'ingénieur allemand Matthaeus Hipp (1813-1893) avait mis au point en améliorant un instrument servant dans l'artillerie à mesurer la vitesse des projectiles et en en portant la précision au millième de seconde. Le physiologiste autrichien Sigmund Exner (1846-1926) appellera temps de réaction le temps mis entre la présentation d'un stimulus, sa conduction au cerveau, son traitement et la réponse musculaire. L'ophtalmologiste hollandais Frans Cornelius Donders (1818-1889) s'interrogea alors: « La pensée n'aurait-elle pas non plus la vitesse infinie qu'on lui attribue habituellement, et serait-il possible de mesurer le temps nécessaire pour la formation d'une idée ou pour la détermination de la volonté ? » En effet, des processus mentaux s'intercalent entre l'impression sensitive et la réaction motrice. En 1865, il proposa un moyen de mesurer ces opérations intellectuelles intercalées : il compara le temps de réaction entre un sujet sachant qu'un choc électrique va stimuler son pied droit et devant le signaler de la main droite, et un autre sujet ignorant quel pied sera stimulé et devant donner le signal de la main du même côté ; en comparant la durée de ces deux activités cérébrales, l'une simple et l'autre complexe, il montra ainsi que cette durée augmente à mesure que l'acte psychique devient de plus en plus compliqué et qu'elle diminue quand l'opération intellectuelle se simplifie.

De la brillante école de Berlin, sera encore issu Julius Bernstein (1839-1917), élève de Helmholtz et de Du Bois-Reymond, qui caractérisa en 1868 l'onde nerveuse circulant dans les nerfs grâce au rhéotome différentiel, un appareil de mesure de courants avec des temps extrêmement courts. En 1902, il fit une analyse thermodynamique de la force électromotrice capable de créer le potentiel de repos dans les nerfs et les muscles et proposa plusieurs hypothèses sur son origine, dont celle (traduite sous le nom de Théorie membranaire des potentiels électriques) d'une différence de concentration entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, comme le prédisait la loi d'excitation de Walther Hermann Nernst (1864-1941). Ce physico-chimiste, né en Prusse Orientale et directeur du nouvel Institut de Chimie physique de Berlin (1894), compara en effet la membrane cellulaire à une séparation semi-perméable opposée à l'égalisation ionique par diffusion : si un courant traverse les tissus, les ions, ne pouvant franchir la membrane, s'accumulent en créant des différences de concentrations, lesquelles augmentent avec la durée de passage du courant, à condition que ce dernier soit continu (un courant alternatif de fréquence élevée ne jouant pas sur ces concentrations et n'excitant donc pas les nerfs et les muscles). Mais, à la même époque, son confrère Wilhelm Ostwald (1853-1932), suggérait aussi que le potentiel électrique induit à travers une membrane semi-perméable artificielle est dû à la perméabilité sélective aux ions de cette dernière. Autre électrophysiologiste allemand, également élève de Du Bois-Reymond, qui devint professeur de physiologie à Zurich : Ludimar Hermann (1838-1914). Mettant au point divers instruments pour mesurer la conduction dans les nerfs et les muscles, il réfuta la thèse de son maître sur l'électrotonus (altération de l'excitabilité et de la conductibilité d'un nerf ou d'un muscle lors du passage d'un courant électrique), en

démontrant qu'il s'agit de la diffusion d'un courant autour des structures excitables due à un arrangement particulier du système physique. Dans son *Handbuch der Physiologi*e (1879), qui fera longtemps date, il envisagea l'existence de courants locaux, laquelle sera confirmée en 1947 par le neurologiste espagnol Rafael Lorente de No (1902-1991) sur le nerf sciatique de grenouille géante, et qui s'écoulent du segment au repos vers la partie excitée, négative, une négativité se communiquant de proche en proche, la région se situant juste après l'excitation se polarisant alors à nouveau et se trouvant dans un état réfractaire. Hermann ayant montré en 1861 que les contractions musculaires n'apparaissent qu'à partir d'un certain seuil d'excitation, la notion de loi du tout ou rien peut être datée de cette année-là. En 1902, à l'aide d'un électromètre capillaire permettant de mieux analyser les mécanismes électriques nerveux, le physiologiste anglais Francis Gotch (1853-1913) observa que l'amplitude et la forme du potentiel d'action du nerf sciatique de grenouille restent identiques à partir d'un certain seuil de stimulation et quelle que soit l'intensité de cette stimulation. Mais c'est à son compatriote, Keith Lucas (1879-1916), que reviendra l'honneur d'avoir véritablement démontré la loi du tout ou rien en 1909 dans la mise en jeu des fibres musculaires, en travaillant seulement sur un faisceau de 8 à 9 fibres, le cutaneus dorsi, au lieu de la totalité des 150 à 200 fibres qui composent le muscle de grenouille (une stimulation croissante provoque une contraction dont l'amplitude suit les marches d'un escalier, mais dont le nombre ne dépasse jamais celui des fibres musculaires de ce faisceau). En 1912, il mit en évidence la loi de réfractorité absolue et relative de la fibre nerveuse après le passage du potentiel d'action : l'existence d'une période réfractaire est d'une importance capitale car elle montre qu'une fibre nerveuse ne peut fonctionner que par une succession de potentiels d'action composant le message nerveux. Mort prématurément au cours de la Première Guerre mondiale, c'est son élève Edgar Douglas Adrian (1889-1977) qui, en mettant au point en 1925 un système d'amplification à valves (plus efficace que l'électromètre capillaire) couplé à un galvanomètre à corde (évitant les distorsions des tracés d'enregistrement, contrairement au galvanomètre simple), parachèvera son œuvre et recevra en 1932 le Prix Nobel de Médecine et de Physiologie. De l'autre côté de l'Atlantique, à l'Université de Saint-Louis, le médecin Joseph Erlanger (1874-1965) révolutionna la neurophysiologie avec son élève Herbert Spencer Gasser (1888-1963) en développant à partir de 1921 les oscillographes cathodiques sans inertie, permettant d'enregistrer enfin correctement l'activité nerveuse : ils justifièrent ainsi l'hétérogénéité des réponses observées dans les fibres sensitives des nerfs périphériques par des différences de diamètre et de vitesse de conduction entre les fibres nerveuses, le toucher étant associé aux fibres rapides et de gros diamètre (fibres A), la douleur à des petites fibres de conduction lente (fibres C) et la température non douloureuse à des fibres intermédiaires (fibres B). Erlanger et Gasser seront en 1944 lauréats du Prix Nobel de Médecine et de Physiologie.

Parallèlement à ces travaux de physiologie, des psychologues allemands vont travailler sur le seuil d'apparition de la sensation tactile. A Leipzig, Ernst Heinrich Weber (1795-1878), après s'être intéressé à l'hydromécanique avec son frère Wilhelm Eduard (1804-1891), un physicien qui laissa son nom, le weber, à l'unité du flux magnétique, se tourna vers la physiologie avec son autre frère Eduard Friedrich (1806-1871), avec lequel il décrivit le rôle inhibiteur du nerf vague. Mais

il reste surtout connu par la loi fondamentale qui porte son nom. En 1834, il mesura ainsi la sensibilité en calculant à la surface de la peau au moyen des deux pointes d'un compas la distance minimale pour que le sujet ressente le double contact. Il rechercha aussi la plus petite différence perceptible de poids entre deux objets posés sur la peau et établit donc la première loi entre intensité de la stimulation et différence minimale perçue, la toute première à impliquer la subjectivité dans l'analyse des sensations. Gustav Theodor Fechner (1801-1887), un autre psychologue allemand, améliorera la loi de Weber sur les seuils de sensibilité et montrera que « la sensation varie comme le logarithme de l'excitation » (loi de Weber-Fechner). En travaillant sur le système visuel, il fondera la psychophysique.

Si l'ensemble de ces travaux ont ainsi initié l'étude des mécanismes de la transmission nerveuse et de l'intégration des messages sensitifs nécessaires à l'élaboration de conduites comportementales adaptées, la description des organes sensoriels cutanés a précédé leurs implications dans les sensations : c'est ainsi que le microbiologiste italien Filippo Pacini (1812-1883) découvrit dans la peau en 1831, alors qu'il était étudiant en médecine, des structures nerveuses en forme de masse faisant office de mécanorécepteurs et qui portent aujourd'hui son nom ; que le médecin allemand Wilhelm Krause (1833-1909) isola dès 1859 les terminaisons cutanées en bulbe sensibles au froid ; son compatriote Friedrich Sigmund Merkel (1845-1919), les ramifications variqueuses de la sensation tactile à haute résolution entre 1875 et 1880 ; l'anatomiste italien Angelo Ruffini (1879-1929), les corpuscules du tissu conjonctif de la peau responsables de la transduction du message douloureux en 1894.

Il restait, afin de mieux analyser la conduction nerveuse, à rechercher des modèles animaux possédant de très grosses fibres. Ce fut chose faite en 1935 avec l'axone géant du calmar, grâce au zoologiste britannique John Zachary Young (1907-1997), ce qui va permettre une étude des mécanismes intimes de la transmission du message nerveux ainsi que des Prix Nobel en 1963 pour les physiologistes et biophysiciens anglais Alan Lloyd Hodgkin (1914-1998) et Andrew Fielding Huxley (né en 1917) pour avoir postulé l'existence de canaux ioniques présents sur la membrane des fibres nerveuses (et qui sera confirmée une dizaine d'années plus tard), qu'ils partageront avec le neurophysiologiste australien sir John Carew Eccles (1903-1997), lequel découvrit les mécanismes ioniques impliqués dans l'excitation et l'inhibition des neurones et mit en évidence la notion de signal pré- et post-synaptique. L'intérêt de travailler sur des neurones gigantocellulaires est de pouvoir enregistrer, au moyen de microélectrodes, les activités intracellulaires. Le calmar ne fut pas le seul invertébré à être ainsi utilisé. Il y a eu aussi l'aplysie, un mollusque marin gastéropode qui possède des ganglions renfermant des neurones dont le corps cellulaire mesure près de 1 mm de diamètre, donc visibles à l'œil nu. On doit sa découverte en 1941 à Angélique Arvanitaki (1901-1983), une physiologiste cairote d'origine grecque qui travaillait à la Station maritime de biologie de Tamaris-sur-Mer, près de Toulon, sous la direction du microbiologiste et électrophysiologiste Henri Cardot (1886-1942). Faisant connaître cette préparation au cours d'un voyage qu'elle effectua aux Etats-Unis en 1959, cette dernière deviendra célèbre dans le milieu neuroscientifique et vaudra au psychiatre et neurobiologiste américain Eric Kandel

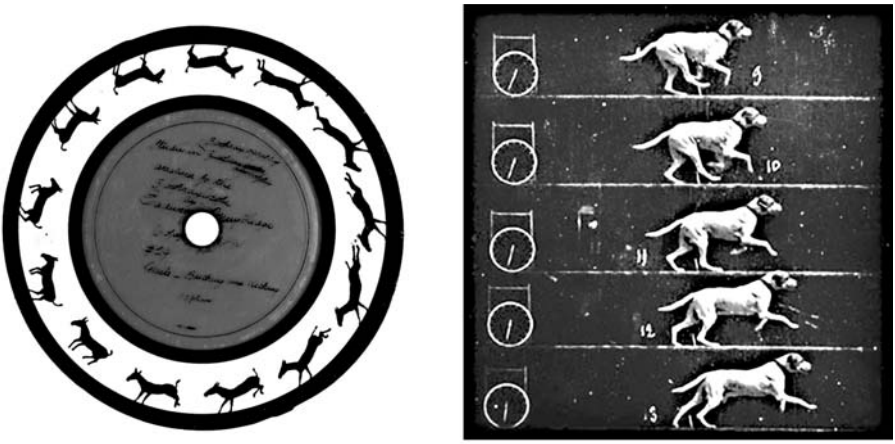
(né en 1929) le Prix Nobel de Médecine et de Physiologie en 2000 pour avoir décrit, grâce à ses travaux sur l'Aplysie, les bases moléculaires de la mémoire à court et à long terme (voir Gandolfo et Miquel, Biologie-Géologie, 2-2008 : p.111-112). Entre-temps, le neurobiologiste tchécoslovaque Ladislav Tauc (1926-1999), fuyant en 1948 l'arrivée des communistes au pouvoir dans son pays et venant travailler à l'Institut Marey à Paris (il sera par la suite nationalisé Français) réussit la prouesse technique d'introduire deux microélectrodes dans la même cellule d'aplysie, d'injecter du courant électrique dans l'une et d'étudier la réponse dans l'autre. C'est dans ce même Institut et à la même époque que la neurophysiologiste Denise Albe-Fessard (1916-2003) explora l'activité réflexe du lobe électrique du Poisson torpille et, pour la première fois, enregistra avec une électrode intracellulaire les neurones corticaux du Chat.

Autre usage d'invertébrés, mais pour l'étude du système visuel cette fois-ci : la limule, un arthropode marin, chez laquelle le neurobiologiste américain Haldan Keffer Hartline (1903-1983) enregistra en intracellulaire les unités réceptrices des yeux, ce qui lui permit de définir le concept d'inhibition latérale, essentiel dans la vision, et lui valut le Prix Nobel de Médecine et de Physiologie en 1967. Mais les progrès sur cette modalité sensorielle se feront surtout chez les mammifères (grenouille, chat, singe), grâce aux travaux sur la rétine (1953) de Stephen Wilhelm Kuffler (1913-1980), fondateur du premier laboratoire de neurobiologie (1967) à l'Ecole de médecine de Harvard. Deux de ses élèves, les neurobiologistes américain David Hunter Hubel (né en 1926) et suédois Torsten Wiesel (né en 1924), obtiendront le Prix Nobel en 1981 pour leur analyse du transfert des informations visuelles au sein du système nerveux central, la mise en évidence du rôle spécifique de chaque hémisphère cérébral et la notion de plasticité cérébrale. Comme l'a écrit le psychophysiologiste Jacques Paillard (1920-2006), spécialiste de motricité cognitive, dans le *Traité de Physiologie* de Charles Kayser (1969) : « On peut (…) assimiler le système nerveux central à un canal de communication avec ses entrées sensorielles (encodage des informations afférentes), ses sorties motrices (programmation des ordres destinés aux organes efférents) et ses opérations centrales de transfert. C'est à ses trois niveaux de traitement de l'information que l'observateur des activités nerveuses peut appliquer ses instruments de déchiffrage du code nerveux et qu'il peut tenter de rapprocher le code nerveux du codage physique de la réalité extérieure que lui fournissent ses instruments de mesure et de description de cette réalité. » La porte était ainsi ouverte à la neurocybernétique, dont nous reparlerons dans un prochain article.

Le comportementalisme

L'étude des conduites comportementales, lesquelles reflètent l'activité mentale (psychisme), est directement issue de la réflexologie (voir Biologie-Géologie, 4-2010, p.188 à 191), dont l'une des conséquences a été les controverses fonctionnelles sur la locomotion. Il y avait d'abord ceux qui considéraient la marche comme une simple activité automatique utilisant la moelle épinière, le cortex cérébral n'étant là que pour l'initier. Ce fut le cas notamment du neurologue de la Salpêtrière, Jean-Martin Charcot, célèbre pour ses fameuses leçons du mardi, et qui, dans celle

donnée le 5 mars 1889, définit la marche comme organisée à deux niveaux : « Les divers appareils relatifs à l'exécution des mouvements de la station, de la marche, du saut, etc., composent chacun deux centres ou groupes cellulaires différenciés dont l'un siège dans l'écorce cérébrale, tandis que l'autre réside dans la moelle épinière ; ces deux centres étant reliés l'un à l'autre, bien entendu par des fibres commissurales. Le groupe spinal, le plus compliqué des deux, sans aucun doute, est chargé de l'exécution automatique, inconsciente des actes coordonnés pour l'accomplissement de chaque fonction ; tandis que le rôle relativement beaucoup plus simple du groupe cortical consiste dans l'émission volontaire des ordres prescrivant tantôt la mise en jeu, tantôt l'accélération ou le ralentissement, tantôt enfin l'arrêt définitif des actes exécutés par le groupe spinal correspondant. Dans celui-ci, en d'autres termes, réside la mémoire psychologique des actes sommaires qu'il faut prescrire soit pour mettre en jeu l'appareil, soit pour en arrêter le fonctionnement, tandis que la mémoire organique, qui préside à l'exécution, dans tous leurs détails, des mouvements prescrits réside dans celui-là. » Si on rajoute l'influence de la formation réticulée et du centre déclencheur mésencéphalique, dont on connaît aujourd'hui le rôle, ce schéma est toujours valable dans ses grandes lignes. La connaissance de ce comportement moteur va alors être précisée par l'analyse cinématique. Le photographe américain d'origine britannique, Eadweard James Muybridge (1830-1904), auteur d'un *Animal Locomotion* (1887) comprenant 11 volumes contenant 100 000 plaques photographiques, s'est intéressé en 1878 à la course du cheval : la question était de savoir si, au cours du galop, l'animal a, un court instant, les quatre pattes décollées du sol ou non. Il confirma la première hypothèse grâce à 24 appareils photographiques disposés le long d'un hippodrome. En 1881, il mit au point le zoopraxiscope, un projecteur permettant de recomposer le mouvement à travers la vision rapide et successive des phases décomposées (*fig. 9*).



9. Zoopraxiscope de Muybridge (1879) conservé au Kingston Museum : disque support des images (à gauche) et images projetées (à droite).
Ce dispositif permet de visualiser de courtes séquences animées, grâce à la rotation des images sur le disque dans l'appareil de projection, donnant ainsi l'impression de mouvement. Les premiers disques étaient peints à la main, puis à partir de 1892, les images seront imprimées et coloriées. En 2004, il restait encore 71 zoopraxiscopes.

Parallèlement, Etienne-Jules Marey (1830-1904), un médecin qui succéda à Flourens au Collège de France, perfectionna, grâce au kymographe de Ludwig, les techniques d'inscription graphique et en généralisera l'emploi dans l'étude des phénomènes physiologiques : on lui doit ainsi le sphygmographe, la première sonde cardiaque d'enregistrement des pulsations (1863), le tambour qui porte son nom, sorte de capsule manométrique à paroi de caoutchouc capable de transmettre avec précision des variations de pression, et, surtout, pour étudier la locomotion humaine et animale, le procédé chronophotographique (duquel dérivera d'ailleurs le cinématographe) exposé dans La machine animale : locomotion terrestre et aérienne (1873-74) ; il inventa en 1882 le fusil photographique qui lui permit de photographier le vol d'un oiseau sur douze poses par seconde. La même année, il créa la Station Physiologique du Bois de Boulogne (ou Institut Marey), qui connaîtra son heure de gloire avant de disparaître dans les années 1950. En 1905, Marey céda ses planches sur la marche, le trot et la course du chien au physiologiste belge Maurice Philippon (1877-1938) qui avait étudié le comportement des chiens spinalisés chez Goltz à Strasbourg. En analysant finement les paramètres du pas du membre postérieur, il put en définir les quatre phases, une en flexion, trois en extension et soutint, dans L'autonomie et la centralisation dans le système nerveux des animaux (1905), que cette activité rythmique provient d'une activité médullaire complétée par des régulations réflexes : « La coordination locomotrice est une fonction exclusivement médullaire, soutenue d'une part par des enchaînements de réflexes directs et croisés, dont l'excitant est tantôt le contact avec le sol, tantôt le mouvement même du membre. A côté de cette coordination basée sur des excitations périphériques, il y a une coordination centrale provenant des voies d'association intra-médullaires. » La découverte de centres locomoteurs médullaires se fit en 1911 : le clinicien écossais Thomas Graham Brown (1882-1965) démontrait sur un chat spinal (à la moelle épinière sectionnée) la persistance, après suppression des afférences sensorielles par section des racines rachidiennes dorsales, d'une contraction alternée de deux muscles antagonistes. En émettant l'hypothèse d'une balance entre muscles extenseurs et fléchisseurs, il suggéra ainsi l'existence d'un centre spinal pour chaque ensemble musculaire et déclara en 1914 : « Les réflexes périphériques (…) chez le mammifère pourraient être produits comme une modification de l'activité neurale primitive vue d'abord dans sa forme coordonnée dans le battement de sa progression rythmique. » Ses travaux visionnaires seront pourtant oubliés pendant plus de 50 ans ! Ce ne sera qu'en 1969 qu'une équipe suédoise (re)démontrera l'existence d'un centre spinal organisateur.

Les réflexes posturaux firent aussi l'objet d'attention. L'école hollandaise va faire des labyrinthes de l'oreille interne les vrais organes de l'équilibration : Rudolf Magnus (1873-1927), physiologiste et pharmacologue allemand qui travailla à Utrecht, décrivit dans son livre *Körperstellung* (La position du corps, 1924) les réflexes impliqués dans le maintien de la posture, entre autres les réflexes labyrinthiques de redressement pour reprendre une attitude normale, ainsi que ceux de la tête et du cou qui permettent à l'ensemble du corps de suivre automatiquement le déplacement de la tête ; Gisbertus Godefriedus Johannes Rademaker (1887-1957) étudia les réactions de chute, de changement de position et de rotation de la tête chez le chien normal délabyrinthé et décérébellé afin de mettre en évidence les rôles

respectifs de l'oreille interne et du cervelet. C'était la grande époque de la cartographie cérébelleuse. Si le neurologue italien Luigi Lucciani (1840-1919) décrivit en 1891 à Florence les trois symptômes fondamentaux apparus après lésion du cervelet (atonie ou perte de la résistance musculaire ; asthénie ou diminution de la tension musculaire ; astasie ou perte de la stabilité dans la contraction), il rejeta toute notion de localisation précise, car si les anatomistes insistaient sur les lobes et lobules du cervelet et son « arbre de vie » (indentations complexe de substance grise et blanche), les physiologistes par contre considéraient la structure comme unique. En 1904, une publication de Louis Bolk (1866-1930) changea la donne : examinant plus de 60 espèces différentes de mammifères, il montra que la fissure primaire sépare le cervelet en deux lobes, l'antérieur, une structure entière, et le postérieur qui se subdivise en parties centrale et latérales ; il compara le développement de ces régions cérébelleuses avec les habitudes comportementales (tournoiements de tête, mouvements des yeux, de la langue, des muscles de la face, prise manuelle d'objets, coordination des membres supérieurs et postérieurs), au point parfois de tomber dans le paroxysme (il associa ainsi le lobule simplex au contrôle des muscles du cou en observant son hypertrophie chez la girafe !). Mais ce sera grâce à la microscopie électronique et à l'anatomiste hongrois Janos Szentagothai (1912-1994), également poète et peintre (il a illustré ses propres dessins anatomiques), que le fonctionnement complexe des circuits cérébelleux sera élucidé dans les années 1960-70. Le cervelet a ainsi des actions directes (prédiction du mouvement, sur son initiation, régulation de sa réalisation, détection d'erreur entre la commande motrice et le déroulement réel) et des effets à plus long terme (réglage des diverses activités réflexes médullaires, automatisation du mouvement, apprentissage moteur et mémoire motrice).

L'école allemande de physiologie a eu, notamment par l'intermédiaire de Carl Ludwig (voir Biologie-Géologie, 4-2010 : p.189), une influence considérable sur la réflexologie russe et sur l'idée d'un psychisme de la moelle épinière. Ivan Mikhaïlovitch Sechenov (ou Setchenov : 1829-1905), médecin et professeur de neurophysiologie à Saint-Pétersbourg, qui fut également l'élève de Claude Bernard dont il introduisit la méthode expérimentale en Russie, découvrit en 1865 les centres inhibiteurs des réflexes spinaux en constatant que la section de la moelle épinière chez la grenouille provoque la disparition transitoire des réflexes au-dessous du niveau de section : on appellera ce phénomène le choc spinal. Son livre de vulgarisation *Les actions réflexes du cerveau* (1863) – dont le titre original était *Tentative de ramener le mode d'origine des phénomènes psychiques à leurs bases physiologiques* - dans lequel le cerveau, dans une perspective matérialiste, est décrit comme l'organe de l'âme, les pensées en tant que réflexes dont l'effet est suspendu et les états affectifs, des réflexes intenses à irradiation diffuse de l'excitation (autrement dit les comportements humains s'exprimeraient suivant un équilibre entre excitation et inhibition opérant essentiellement selon les principes d'un arc réflexe), provoqua sa censure par le régime tsariste (on lui reprochait d'apporter des données immorales favorisant la propagation de la philosophie nihiliste), mais continua longtemps à circuler dans la clandestinité. Il y est écrit : « Tous les actes psychiques sans exception (…) se développent par voie réflexe. De là, tous les mouvements conscients résultant de ces actes et classiquement considérés comme volontaires, sont des

mouvements réflexes dans le sens le plus strict du terme. (…) Donc, non seulement on apprend à coordonner ses mouvements grâce à la répétition de réflexes associés mais en même temps on acquiert la possibilité de les inhiber. » Le principe stimulus-réponse devenait donc la règle. Il faut préciser que cette idée de mémoire des nerfs trouvera un appui dans la communication sur La mémoire comme fonction générale de la matière organisée donnée en 1870 à l'Académie des Sciences de Vienne par le physiologiste allemand Ewald Hering (1834-1918), dans laquelle il pensait que la mémoire humaine a pour origine les réflexes et les instincts des organismes primitifs, en se basant sur la loi biogénique (1866) de son compatriote, l'embryologiste Ernst Haeckel, connue par la célèbre formule : « L'ontogenèse est un résumé de la phylogenèse. » Toujours est-il que l'ouvrage de Sechenov faisait ainsi quitter aux réflexes la moelle épinière, lieu où ils avaient été initialement décrits, pour s'étendre au cerveau et sera ainsi à l'origine de la vocation de nombreux chercheurs, parmi lesquels d'une part l'électrophysiologiste géorgien Yvan Romanovitch Tarkhanov (ou Tarchanov : 1848-1909) qui décrivit en 1890 le réflexe psychogalvanique (appelé plus tard réponse électrodermale), c'est-à-dire des changements des propriétés électriques de la peau à la suite d'une anxiété ou d'un stress, et surtout d'autre part Ivan Petrovitch Pavlov (1849-1936).

Originaire de Riazan, lecteur en physiologie à l'Université de Saint-Pétersbourg (une charge qui l'amena à séjourner dans les plus célèbres laboratoires allemands), puis titulaire de la chaire de pharmacologie, enfin directeur de l'Institut de médecine, Pavlov a commencé ses recherches sur la digestion, ce qui explique qu'il n'ait guère retenu que des phénomènes sécrétoires dans ses études sur les réflexes conditionnés. Dans la tradition de Sechenov, il admettait que les activités psychiques complexes sont le résultat des interactions continuelles entre l'organisme et son milieu et ne sont pas d'une autre nature que les actes réflexes qui sont des réponses innées à un agent extérieur (dont le fonctionnement repose donc sur des voies anatomiques établies dès la naissance), sauf qu'ici, elles sont acquises par l'expérience individuelle et sont au principe des formes les plus complexes de l'activité nerveuse supérieure. D'où la question fondamentale de la liaison entre l'activité psychique et le cerveau qu'il se posa ainsi : « Ne serait-il pas possible de trouver un phénomène psychique élémentaire qui, en même temps, pourrait à bon droit être entièrement considéré comme un phénomène purement physiologique, afin que, partant de là, par une étude rigoureuse objective des conditions de son apparition, de ses complications et de sa disparition, nous puissions obtenir le tableau physiologique objectif et complet de l'activité supérieure des animaux, du fonctionnement normal du segment supérieur de l'encéphale, au lieu des expériences effectuées jusqu'alors et basées sur l'excitation artificielle et sur la destruction ? » Pavlov constata que l'activité réflexe engendrant la sécrétion des glandes salivaires du chien est certes mise en jeu lors d'un contact direct entre les excitants alimentaires et les zones sensibles de la bouche ou du tube digestif, mais qu'elle peut être également déclenchée à distance par ces excitants voire par les bruits qui précèdent le repas : il nomma ce dernier type de réactions réflexes à distance, puis réflexes signaux, enfin réflexes conditionnels. En introduisant la notion de réflexe psychique dans laquelle « la réaction à un excitant défini est déterminée par la combinaison de celui-ci avec les traces des irritations précédentes dans les grands hémisphères », le physiologiste français

Charles Richet (1850-1935) incita alors Pavlov à essayer d'analyser l'excitation psychique des glandes, lequel parlera de sécrétion psychique dans ses Conférences sur l'activité des principales glandes digestives (1897). Il est tout de même curieux de constater que ce terme de sécrétion psychique avait déjà été employé par Jacques-Bénigne Bossuet (1627-1704), le prélat et orateur français, précepteur du Dauphin, dans son Traité de la connaissance de Dieu et de soi-même (1677), mais il est fort probable que Pavlov ignorait tout de l'ouvrage de l'Aigle de Meaux. De même qu'il ne devait pas plus connaître l'ouvrage Experiments and observations on the gastric juice and the physiology of digestion (1833) de William Beaumont (1785-1853), un chirurgien de l'armée américaine, dans lequel celui-ci relatait le cas d'Alexis Saint-Martin, un trappeur canadien ayant un trou permanent dans son estomac, ce qui permettait d'observer les processus chimiques de la digestion avec la production de suc gastrique : Beaumont nota qu'une sécrétion pouvait apparaître à la suite d'une action psychique conditionnée ! Le physiologiste russe regretta par la suite cette expression de sécrétion psychique, qui pouvait laisser penser que les réactions réflexes psychiques sont de nature différente de celles provoquées par les excitants externes et dépendent d'excitants internes tels que les sentiments, les impressions, les états d'âme, bref ce que la psychologie introspective d'alors nommait psychisme. Il n'eut dès lors point de cesse que de combattre cette conception dualiste. Pourtant, la physiologie s'appuyant sur les sciences exactes, c'est donc sur l'étude physiologique des grands hémisphères cérébraux chez les animaux que doit être fondée l'analyse scientifique exacte de la vie subjective de l'Homme. La description de l'activité nerveuse supérieure à partir de l'étude des réflexes conditionnés que fit Pavlov sera alors formulée en termes d'excitation et d'inhibition : un excitant peut ainsi provoquer un processus d'excitation ou d'inhibition au niveau cortical et l'un et l'autre peuvent s'irradier dans des zones cérébrales voisines ; le réflexe conditionnel est donc une liaison temporaire qui s'est créée entre ces excitants. A partir de là, Pavlov développa une typologie où il considère l'intensité des processus corticaux d'excitation et d'inhibition, leur équilibre et leur mobilité : ainsi, si le processus d'excitation est fort et celui d'inhibition faible, l'animal sera agressif ; si les deux sont également faibles, il sera timide ou instable ; s'ils sont très mobiles, l'animal sera vif, et s'ils ont une certaine inertie, on aura affaire à un tempérament calme. Il mit ensuite ces types nerveux en relation avec le phénomène de névrose expérimentale : quand on met en jeu, en rapprochant de plus en plus les excitants à différencier, des processus d'excitation et d'inhibition en succession rapide, l'animal devient agité, les différenciations acquises disparaissent et cela peut durer des mois ; le type fort mais non équilibré et le type faible ont la plus grande propension aux névroses expérimentales. Pavlov rapprocha ces observations de celles sur la pathologie humaine et entretint à ce sujet toute une correspondance avec le psychiatre et neurologue Pierre Janet (1859-1947) qui impulsa la psychologie expérimentale en France. L'attribution à Pavlov du Prix Nobel de Physiologie et de Médecine en 1904 consacra ainsi l'autonomie de la physiologie russe. Considéré comme le promoteur de la psychophysiologie, il a également eu une influence considérable sur la psychologie scientifique moderne, notamment sur la psychologie soviétique, la révolution d'Octobre ayant reconnu ses mérites. Il sera proclamé *princeps physiologorum mundi* au XVe Congrès international de physiologie à Rome en 1932.

Le concept réflexologique va être repris par les chercheurs anglo-saxons, mais dans des mécanismes plus complexes pour constituer un élément indispensable de l'étude psychique. Le neurophysiologiste Thomas Laycock (1812-1876), qui fut le premier Anglais à occuper une chaire (de pratique médicale) à l'Université d'Edimbourg, fit ainsi du réflexe la continuité évolutive de l'esprit dans la nature. En 1840, il déclara que les ganglions crâniens, bien qu'organes de la conscience, sont sujets aux mêmes lois que celles qui gouvernent les ganglions du système nerveux végétatif et diffus des animaux et le vitalisme des végétaux. Autrement dit, comme le réflexe spinal a supporté l'affinité génétique de l'irritabilité qui existe chez les animaux les plus simples et les plantes, les opérations dans les centres nerveux les plus élevées conservent le caractère fondamental des réflexes les plus élémentaires. Défendant l'idée d'une continuité dans l'évolution entre le monde animal et l'Homme, il enfonça le clou dans sa publication *On the reflex function of the brain* (1845) : par le réflexe, on doit être capable de comprendre le fonctionnement de l'esprit et ceci en réaction à toute approche métaphysique. Il aurait donc préfiguré les concepts qui seront plus tard repris par les psychologues, notamment américains.

On peut donc aussi mesurer l'importance de l'influence de l'école allemande de physiologie et de la méthode expérimentale sur les débuts de l'école américaine. Nombreux furent ainsi les élèves de Carl Ludwig et de Claude Bernard : par exemple Henry Pickering Bowditch (1840-1911) qui fonda en 1871 le premier laboratoire de physiologie expérimentale à l'Université Harvard de Boston ; William Henry Welch (1850-1934), celui de biologie à l'hôpital John Hopkins de Baltimore en 1885. En 1887, la Société américaine de Physiologie se substituera aux écoles européennes par l'ampleur de l'équipement qui conditionnera les progrès techniques d'investigation. Influencée par les travaux de Pavlov, ainsi que par le psychologue français Henri Louis Charles Piéron (1881-1964), professeur de physiologie des sensations au Collège de France, créateur du premier institut de formation des conseillers d'orientation-psychologues, et qui, dans sa leçon inaugurale à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes sur L'évolution du psychisme (1908), affirmait que, pour devenir scientifique, la psychologie ne peut prendre les faits de conscience pour objet et que ses recherches « porteront sur l'activité des êtres et leurs rapports sensori-moteurs avec le milieu, sur ce que les Américains appellent the behavior, les Allemands das Verhalten, les Italiens il comportamento, et sur ce que nous sommes en droit d'appeler le comportement des organismes », l'école behavioriste (donc de l'américain behavior : comportement), fondée en 1913 par John Broadus Watson (1878-1958), a l'ambition de présenter la psychologie comme science. Elle s'oppose surtout à la psychologie d'introspection en défendant les principes réflexes. Destiné au ministère des cultes, Watson s'en détourna pour s'intéresser à la philosophie, puis à la psychologie et à la neurologie, devint professeur à l'Université John Hopkins pour finir dans la publicité. Dans son manifeste Psychology as the behaviorist views it (1913), il affirmait d'emblée : « La psychologie a remarquablement échoué, durant les cinquante et quelques années de son existence comme discipline expérimentale, à se faire une place incontestée dans le monde, en tant que science naturelle. (…) Le temps semble venu où la psychologie doit rejeter toute référence à la conscience ; où elle ne doit plus errer et croire

qu'elle fait des états mentaux l'objet de l'observation. » Ce qui lui a plu chez Pavlov, c'est qu'il a été le premier à étudier les lois du comportement sans faire appel à des concepts mentalistes, mais, contrairement à ce dernier, il admettait que les réflexes conditionnés sont l'expression d'une liaison, non pas entre les excitants, mais entre un excitant et une réponse comportementale. Pour être valable, toute proposition en psychologie doit alors s'énoncer en termes de stimulus et de réponse : « L'étude psychologique doit fournir des données et des lois telles que, le stimulus étant donné, on puisse prédire quelle sera la réponse, ou inversement que la réponse étant donnée, on puisse spécifier quel est le stimulus. » Le stimulus a en psychologie le même sens qu'en physiologie : il représente une énergie physique mesurable susceptible d'exciter des récepteurs spécialisés ou un organe des sens. S'il est complexe, dans le monde social par exemple, on parle alors d'environnement ou de situation. La réponse peut être simple (contraction musculaire, sécrétion glandulaire, réflexe) ou complexe (prendre de la nourriture, construire une maison, converser, écrire une lettre…) et on parle dans ce cas d'acte ou d'ajustement, tout acte complexe étant réductible à leurs composants élémentaires. Watson écartait ainsi la psychologie des contenus de la conscience, qui, pour lui, n'est pas un concept opérationnel, celle des opérations mentales et l'usage de l'introspection comme méthode d'analyse. La psychologie doit prendre en compte le corps total et pas seulement le système nerveux central : ses méthodes sont l'observation, le conditionnement, les tests et le rapport verbal. Elle est donc une science naturelle avec ses lois qui sont du même ordre que celles en physiologie et en neurologie. La part de l'hérédité est ainsi faible et le comportement en grande partie socialement conditionné. L'apprentissage est fondamental, les habitudes complexes sont un agrégat d'habitudes élémentaires, les émotions sont des réponses organiques fondées sur les réactions innées de peur, de colère et d'amour. Le comportement pathologique n'est que la résultante de conditionnements aberrants : son traitement passe alors par des techniques de déconditionnement et de reconditionnement. Le behaviorisme dériva rapidement en une idéologie radicale rejetant émotions et même esprit comme épiphénomènes du comportement. Son but sera de façonner le destin des hommes, de les programmer, de les construire afin de pouvoir exercer un contrôle social au sein de l'entreprise, de l'armée voire de la famille. Watson n'hésitera pas en 1921 à conditionner lui-même un jeune enfant à la peur, en associant un bruit étourdissant à la présence d'un rat blanc, ce qui finira par induire chez le bambin une panique devant tout animal à fourrure !

Cette conception d'un animal dépourvu d'émotions, n'étant qu'une machine organique régie par des lois fondamentales a justifié *a posterior*i le développement intensif de l'expérimentation animale : d'abord menée sur des animaux domestiques, les chiens notamment, elle s'attira les foudres des ligues contre la vivisection écœurées par les souffrances, bien réelles, des animaux de laboratoire. Pour calmer le jeu, Henry Herbert Donaldson (1857-1938), un neurologue américain spécialiste des récepteurs sensoriels de la peau, promut comme modèle expérimental le rat Wistar, un mutant albinos du rat de Norvège plus petit, plus docile, donc plus manipulable que le rat sauvage et qui partage de nombreuses similarités avec l'ensemble des Vertébrés. De plus, il est peu susceptible d'attirer la compassion des ligues, les rongeurs étant depuis des siècles détestés car vecteurs de maladies mortelles.

L'élevage à grande échelle du Wistar (puis d'autres souches recroisées avec des rats sauvages), sélectionnant des animaux particulièrement résistants, dépourvus de germes pathogènes et peu chers, permit enfin des études statistiques (les expériences étant jusque-là descriptives et qualitatives) pouvant alors porter sur un nombre significatif d'animaux, ainsi que de procéder à des méthodes invasives ou traumatiques soit à effets irréversibles comme l'ablation d'une structure cérébrale entière ou en partie, la section d'un réseau de fibres qui supprime les connexions entre structures et des lésions plus localisées, soit à effets réversibles, tels la stimulation, électrique ou chimique, et le refroidissement d'une zone précise du cerveau, faisant chuter son métabolisme et rendant les structures temporairement non fonctionnelles, soit enfin de mesure du métabolisme (sondes push-pull, microdialyse…). Toutes ces expériences ont pu être réalisées grâce à la construction en 1906 par le médecin anglais Robert-Henry Clarke (1850-1921) et son compatriote le neurochirurgien Victor Horsley (1857-1916) de l'appareil stéréotaxique, qui permet de maintenir la tête de l'animal (le chat à l'origine) afin d'atteindre, par un système de références en trois dimensions, n'importe quelle structure centrale : l'appareillage, toujours usité et adapté depuis aux rongeurs, a été décrit dans la revue Brain en 1908, mais Clarke, d'une jalousie frisant la paranoïa, s'était déjà brouillé avec Horsley (leur rupture date de 1907) au motif que son nom n'était jamais cité en premier !

Deux autres psychologues américains ont beaucoup contribué à la révolution behavioriste. Le premier a été un disciple de William James à Harvard, Edward Lee Thorndike (1874-1949) dont l'ouvrage *Animal Intelligence* (1898) fit date dans l'histoire de la psychologie animale en mettant au point l'apprentissage dit par essais et erreurs : il s'agit de créer une situation d'apprentissage avec des boîtes-problèmes, un dispositif dans lequel est enfermé l'animal et dont il ne peut sortir qu'en faisant une manipulation déterminée qu'il doit découvrir en tâtonnant. Il montra ensuite que le comportement humain peut être étudié par les mêmes procédures que le comportement animal et eut une influence prépondérante dans le domaine des théories de l'apprentissage et de la recherche en éducation : il formula notamment sa célèbre loi de l'effet, selon laquelle, pour que la liaison entre une situation et un comportement soit renforcée (autrement dit pour que ce comportement ait plus de chances de se produire dans cette situation), il faut que l'émission du comportement s'accompagne d'un état plus satisfaisant pour l'organisme ; en clair, il s'agit de lier apprentissage et motivation. Ce sera l'avènement de la psychologie stimulus-réponse. La seconde figure est celle de Burrhus Frederic Skinner (1904-1990), également professeur à Harvard. Il rejeta le mentalisme et toute spéculation sur les relations qui pourraient exister entre le comportement et le système nerveux : la physiologie tient un autre discours que la psychologie, et cette dernière n'a aucun besoin de recourir aux concepts de la première pour cerner son projet propre qui est exclusivement le contrôle du comportement. Toutefois, contrairement aux autres behavioristes, ce n'est pas tel ou tel stimulus qui déclenche une réponse comportementale par une série d'intermédiaires plus ou moins complexe, mais ce sont les contingences de l'environnement qui permettent de sélectionner telle ou telle conduite, donc de moduler le comportement. C'est une vue très darwinienne. Le rôle du psychologue n'est donc pas de développer des théories et de tester des hypothèses où il ne peut traiter que d'effets arbitrairement choisis, mais d'abord de déterminer les unités de

base du comportement à partir de critères précis et de repérer les variables fondamentales qui doivent être utilisées dans une description, ensuite d'étudier les comportements individuels (car la signification statistique, dont il critiqua le recours, ne recouvre pas la signification psychologique) en maîtrisant l'environnement où l'on place le sujet et en définissant des mesures de réponse informatives (par exemple le taux plutôt que la latence ou le nombre de choix). Le milieu est donc perçu comme l'élément dominateur où l'être vivant n'a pour s'adapter qu'une seule possibilité : le conditionnement. Une proposition que renversera le biologiste et philosophe balte Jakob Johann von Uexküll (1864-1944), l'un des pionniers de l'éthologie, et qui, dans Mondes animaux et monde humain (1934) fera du milieu dans lequel vivent et s'adaptent les êtres vivants un élément dynamique : « le propre du vivant c'est de faire son milieu. »

Le terme d'éthologie (du grec *ethos* : mœurs et *logos* : discours, science) était apparu pour la première fois en 1843 chez le philosophe et économiste anglais John Stuart Mill (1806-1873) en tant que science des caractères en construction. En 1854, le zoologiste français Isidore Geoffroy de Saint-Hilaire (1805-1861), le fils d'Etienne (1772-1844) qui avait crée l'embryologie ainsi que la ménagerie du Jardin des Plantes, l'utilise dans son acception de science du comportement des animaux (y compris l'Homme) et de ses déterminants physiologiques, psychologiques et environnementaux, en entendant par comportement l'ensemble des manifestations motrices d'un individu observables à un moment et un endroit donnés. Le mot sera enfin introduit en 1902 en Amérique du Nord par William Morton Wheeler (1865-1937), un spécialiste des arthropodes, pour désigner l'étude du comportement des animaux dans leur milieu naturel.

La technique de Skinner est alors le conditionnement opérant, qui s'appuie en réalité sur le conditionnement instrumental (ou réflexes conditionnés de type II) développé en 1928 en Pologne par le biologiste Jerzy Konorski (1903-1973), un élève de Pavlov, et qui considérait l'apprentissage associatif comme le résultat d'une plasticité neuronique à long terme : quand un sujet se déplace dans son environnement, certains de ses comportements produisent dans ce dernier des modifications détectables ; la réponse opérante est donc définie par les conséquences qu'elle a pour le sujet sans qu'elle dépende causalement d'un stimulus de la situation. C'est sur le principe d'un contrôle rigoureux des contingences permettant de sélectionner des conduites réitérables que repose la méthode skinnérienne aussi bien dans les domaines de la psychophysique animale, de l'expérimentation, de l'enseignement, des thérapies comportementales que de l'écologie sociale, où le but proposé est de sélectionner les conduites pertinentes en manipulant des programmes de renforcement. Toute la question est de savoir qui décide de la pertinence des conduites choisies, ce qui engendra de vives polémiques au fur et à mesure des publications de Skinner : *Science and human behavior* (Science et comportement humain, 1953) ; *Verbal behavior* (Le comportement verbal, 1957) ; *The technology of teaching* (La révolution scientifique de l'enseignement, 1968) ; *Beyond freedom and dignity* (Par-delà la liberté et la dignité, 1971)… Skinner laissa enfin son nom à une boîte expérimentale dans laquelle se trouve un levier déclenchant l'arrivée d'une boulette de nourriture et permettant d'établir une réaction conditionnée de l'animal.

Le parti pris anti-psychique et anti-constructiviste de la psychologie behavioriste sera très critiqué. Les sciences cognitives naîtront d'ailleurs d'une violente réaction contre ce refus d'aborder les fonctions psychiques, le psychologue suisse Jean Piaget (1896-1980) démontrant qu'on ne peut pas résumer l'intelligence à des phénomènes d'apprentissage et d'imitation sur le modèle de l'éthologie animale sans tenir compte de la manière dont la connaissance se construit chez un sujet, chez autrui, chez un groupe. Et c'est justement un biologiste et psychologue expérimental américain, Karl Lashley (1890-1958), qui mettra en doute dès 1925 le rôle du néocortex cérébral dans les mécanismes centraux du conditionnement. A des rats en situation d'apprentissage dans un labyrinthe, il procéda à des sections corticales dans le but de supprimer toutes les relations horizontales entre structures et n'observa pas de perturbation notable. Il effectua ensuite des ablations plus étendues du cortex et, quelle que soit la région détruite, l'animal restait toujours capable de trouver son chemin dans le labyrinthe. Il conclut alors à l'absence de toute spécificité du cortex, renouant ainsi avec la conception holistique du cerveau, les éventuelles perturbations observées dans le cas d'ablations plus massives étant plutôt le fait de la quantité supprimée de cortex que celui de sa localisation précise : c'est le principe d'action de masse et de l'équipotentialité des aires corticales impliquées dans l'apprentissage et la mémoire. Pourtant, l'erreur méthodologique était patente : Lashley ne s'était pas rendu compte que le rat puisse utiliser plusieurs modalités sensorielles (vision, olfaction, etc.) pour se diriger dans le labyrinthe, de sorte que les ablations n'ont pas pu toutes les supprimer. En revanche, son élève, le neuropsychologue canadien Donald Olding Hebb (1904-1985), trouva les mécanismes de base de l'apprentissage dans *The Organization of behavior : a neuropsychological theory* (1948) : « Quand un axone de la cellule A est suffisamment proche pour exciter la cellule B de façon répétitive ou persistante, il se produit un processus de croissance ou un changement métabolique tel que l'efficacité de A, en tant que cellule excitant B, s'en trouve augmentée. » Il annonça donc la notion de plasticité synaptique (voir Gandolfo et Grammont, Biologie-Géologie, 2-2005 : p.296 à 299), qui sera vérifiée sur le plan électrophysiologique dans les années 1970 : le cortex cérébral redeviendra ainsi prédominant.

En 1935, également en réaction contre les excès du behaviorisme faisant de l'individu une sorte de « pâte à modeler » sur laquelle on peut tout imprimer, l'Autrichien Konrad Lorenz (1903-1989) et le Hollandais Niko Tinbergen (1907-1988), qui obtiendront tardivement le Prix Nobel en 1973, fondèrent l'école objectiviste dans le but de redonner toute son importance à l'aspect inné des comportements, sans toutefois retomber dans la position extrême du mécanisme cartésien, à l'instar du biologiste germano-américain Jacques Loeb (1859-1924) qui, étudiant chez les végétaux le phénomène de croissance orientée sous l'influence d'une stimulation extérieure, avait transposé cette notion de tropisme chez l'animal pour décrire les mouvements d'orientation et les assimiler à des sommes de réflexes, actes innés, systématiques et rigides, permettant de rendre compte du comportement de n'importe quelle forme vivante, ce qui revenait à réduire tout comportement à des mouvements forcés et automatiques. L'ambition des éthologistes objectivistes a été de soustraire le concept d'instinct au débat stérile dans lequel il s'était englué entre les vitalistes et les mécanistes. L'instinct va donc être restreint aux schémas

moteurs d'action fixe, unités comportementales simples, stéréotypées et spécifiques, dont le déclenchement s'effectue par des mécanismes innés de déclenchement, sortes de filtres perceptifs impliqués dans la distinction entre les différents stimulus. Egalement connus pour avoir sorti hors des laboratoires l'analyse comportementale en la replaçant dans son milieu naturel, donc en faisant une étude plus « objective », on les qualifia d'abord de néo-instinctivistes puisqu'il s'agissait d'une reprise du courant vitaliste ou instinctiviste, illustré notamment par l'entomologiste Jean-Henri Fabre (1823-1915) qui avait remarqué qu'en plaçant un animal dans les conditions d'observations d'un laboratoire, on courrait le risque de dérégler son système de réponse et que le comportement observé ne serait plus alors qu'un artéfact expérimental.

Considérer cependant le behaviorisme comme le commencement absolu de la psychologie moderne serait faire injustice à bon nombre de praticiens ayant déjà utilisé l'analyse objective du comportement et précédant ainsi largement l'affirmation doctrinale. Citons par exemple Wilhelm Wundt (1832-1920) qui fonda en 1879 à Leipzig le premier laboratoire de psychologie expérimentale qui ait eu une existence officielle et où tous les grands représentants de la première génération d'expérimentalistes, à peu d'exceptions près, y auront séjourné. Physiologiste de formation (il fut l'élève de Müller à Berlin), il commença par des travaux sur la perception, puis s'intéressa à la mesure de la complexité des processus psychologiques par la méthode des temps de réaction en s'inspirant du problème de l'équation personnelle qui préoccupait les astronomes de son époque et qui consistait à étudier les différences inter- et intra-individuelles dans la mesure du moment du passage des étoiles à l'aide de la lunette astronomique. Pour lui, l'expérimentation n'a toutefois de sens que si elle est appuyée sur l'introspection : la psychologie a pour objet l'expérience immédiate ; et la méthode adoptée est l'introspection qui procède à une analyse des processus de conscience en leurs éléments, fournit à l'expérimentation ses objets, les éléments qui sont les composantes de ces processus. L'expérimentateur a alors pour but de mesurer la durée des différentes phases de ces processus et d'étudier les conditions internes qui influent sur leur fonctionnement. Néanmoins, cette méthode analytique ne convient pas pour l'analyse des processus mentaux supérieurs, dont l'étude ne relève pas du laboratoire mais qui exigent le recours à la méthode historique et à une analyse comparative du développement de la pensée humaine. Ses Grundzüge der physiologischen Psychologie (Principes de psychologie physiologique: 1872-74) l'ont fait considérer comme le créateur de la psychophysiologie, du moins du terme, en tant qu'étude du support physiologique des comportements et des activités mentales concomitantes. Son compatriote Hermann Ebbinghaus (1850-1909), initialement un philosophe qui soutenait l'idée d'une continuité entre l'inconscient et le conscient et pensait que la psychologie devait se séparer de la philosophie en s'appuyant sur des méthodes objectives, n'eut ainsi de cesse d'appliquer à l'étude des processus mentaux supérieurs des méthodes de mesure analogues à celles que Fechner, le fondateur de la psychophysique, avait utilisées pour l'étude des seuils différentiels de la sensation. Travaillant seul, jouant à la fois le rôle d'expérimentateur et celui de sujet, il inventa ainsi un nouveau matériel, qui deviendra classique, pour l'étude de la mémoire, jusque-là étudiée seulement par l'apprentissage de textes : il s'agissait de retenir des syllabes dépourvues de sens (paralogues)

et il en mesura le taux de rétention en fonction du temps écoulé depuis la dernière répétition, de la longueur de la liste des syllabes à mémoriser et du nombre de répétitions. Il mesura aussi les capacités mentales au moyen d'une autre méthode, connue sous le nom de test de complément de phrases ou de mots et également largement utilisée par la suite, et qui consiste donc à faire compléter par le sujet des phrases comportant des lacunes ou des mots ayant des lettres omises. Dans son livre *Sur la mémoire : une contribution à la psychologie expérimentale* (1885), qui eut un fort retentissement aussi bien en Allemagne qu'en France et aux Etats-Unis, il insista sur les états mentaux antérieurs qui ne disparaissent pas totalement quand ils s'évanouissent de la conscience dans la mesure où l'on peut les évoquer et qu'ils sont capables d'influencer les actions actuelles. La mémoire était ainsi devenue un centre d'intérêt majeur. Le psychologue belge Joseph Rémi Léopold Delboeuf (1831-1896), également mathématicien, philosophe et praticien de l'hypnose, précisait dans son livre sur *Le sommeil et les rêves* (1885) : « Pour expliquer la mémoire, c'est-à-dire l'impression indélébile dans la matière organisée et sensible des traces des événements, j'ai dû critiquer les axiomes relatifs à l'intégrité permanente de la matière et de la force. Cet examen m'a permis de découvrir le principe de la fixation de la force, et par contrecoup le véritable siège de l'énergie, lequel n'est pas le mouvement, mais le défaut d'équilibre. » Le médecin et zoologiste allemand Richard Semon (1859-1918) va alors être le premier à suggérer, dans ses deux ouvrages *Die Mneme* (1904) et *Die Mnemischen Empfindungen* (Les sensations mémorielles : 1909), la notion d'engramme (du grec *en* : dans, et *gramma* : écriture), c'est-à-dire d'une trace biologique laissée par la mémoire dans le cerveau : à la suite d'excitations simultanées de l'organisme, le processus mnémonique produirait un ensemble de souvenirs communs (loi de l'engraphie) capables de former des concepts programmables en actions plus ou moins appropriées (loi de l'ecphorie) et d'associer sensations et idées dans le souvenir (homophonie). Cette notion d'engramme inspirera l'idée d'un support génétique et moléculaire de la mémoire après la Seconde Guerre mondiale, au point de tenter de la transférer d'un animal à un autre ou d'isoler, à l'instar du physiologiste Georges Ungar (1906-1977), des peptides intracérébraux spécifiques d'un conditionnement donné. Après de nombreux excès, les recherches sur les corrélats chimiques des processus mnésiques se sont faites plus modestes.

On peut encore faire mention d'Alfred Binet (1857-1911), directeur du laboratoire de psychologie physiologique à la Sorbonne et fondateur de la psychologie de l'enfant en France, dont les recherches sur les processus mentaux supérieurs ont reposé pour l'essentiel sur l'observation de l'évolution de ses deux filles : les résultats seront consignés dans son ouvrage sur l'*Etude expérimentale de l'intelligence* (1903) et aboutiront en 1905 au test psychométrique de Binet-Simon, avec son collaborateur, le psychiatre Théodore Simon (1873-1961). Le but est de mesurer le niveau intellectuel des enfants par leur capacité d'adaptation à des épreuves très variées qui sont à l'image de la multiplicité et la diversité des situations auxquelles l'individu se trouve habituellement confronté : comparaison de longueurs et de poids, discrimination de formes, identification et désignation d'objets et de parties de corps, copie et reproduction de mémoire de dessins et de figures, reconnaissance de ressemblances et de différences entre des objets et des dessins, découverte

d'analogies, épreuves de compréhension verbale, découverte d'un code, construction de phrases, découverte d'absurdité dans des images et des récits, exercices de raisonnement arithmétique et logique, etc. Binet a ainsi pu établir une hiérarchie d'âge à partir duquel l'épreuve est réussie par une majorité d'enfants. Chaque âge ayant sa série spécifique d'épreuves, on détermine alors l'âge mental (ou de développement) de l'enfant en prenant en considération les épreuves réussies du niveau le plus élevé. Si la méthode a souffert de quelques faiblesses sur le plan statistique et d'une part d'arbitraire sur le mode de calcul de l'âge mental, elle a été en grande partie reprise dans des tests ultérieurs plus élaborés et toujours usités, notamment ceux des Américains David Wechsler (1896-1981) et Louis Léon Thurstone (1887-1955), et amena l'Allemand Wilhelm (William après sa naturalisation américaine) Stern (1871-1938) à développer en 1912 le concept de Quotient Intellectuel (Q.I.). Binet s'intéressa également à la psychologie des grands calculateurs et des joueurs d'échec, comme l'Italien Jacques Inaudi (1867-1950) qui avait une mémoire prodigieuse des chiffres (mais pas des lettres), pouvant répéter sans se tromper une série de 400 chiffres ! Pour clore cette liste qui est loin d'être exhaustive, signalons enfin Georges Dumas (1866-1946), médecin et psychologue français, successeur de Janet à la Sorbonne comme professeur de psychologie expérimentale. Admettant le postulat de Claude Bernard selon lequel les différences entre mécanismes normaux et pathologiques sont plus d'ordre quantitatif que qualitatif, il élabora une psychologie pathologique niant tout aspect qualitatif des troubles mentaux pour s'en tenir au seul aspect quantitatif : le trouble provient d'un excès ou d'une insuffisance de la fonction normale, qui modifie le fonctionnement du système nerveux central, du système neurovégétatif, des glandes endocrines et du système cardio-vasculaire. Dumas quantifia ainsi les réactions corporelles dans l'émotion dans deux de ses ouvrages : *Le sourire et l'expression des émotions* (1906) et *Troubles mentaux et troubles nerveux de guerre* (1919), à partir de ses observations durant la Première Guerre mondiale.

La disparité initiale des principales écoles de physiologie a donc peu à peu été compensée par les multiples échanges, les stages d'instruction, la diffusion des méthodes et des styles de recherche, dégageant ainsi progressivement l'universalité du savoir physiologique : en 1889 à Bâle se réunit le 1er Congrès international de physiologie. La physiologie bernardienne ouvrit par ailleurs les portes de la médecine scientifique, laquelle connaîtra aussi sa révolution avec l'avènement de la théorie cellulaire (tout organisme est constitué de petites unités : les cellules vivantes, selon une expression née en 1838) et de l'infectiologie pasteurienne. En 1882, l'annonce de l'identification du bacille tuberculeux par Robert Koch (1843-1910), bientôt suivie par celle des germes du choléra, de la typhoïde, du charbon et de bien d'autres, vont soulever l'enthousiasme des foules, au point que des journalistes de l'époque crurent bon de célébrer un âge d'or, une nouvelle ère scientifique qui mettrait au chômage tous les médecins en éradiquant les maladies ! Quant à la psychologie, c'est donc le behaviorisme qui aura l'ambition d'en réunir les connaissances sous sa bannière, ce qui sera, on s'en doute, violemment combattu par les différentes écoles, notamment de psychologie existentielle (pas typiquement expérimentale, elle se base techniquement sur l'intuition, l'analyse et la description) avec Ludwig Binswanger (1881-1966) en Suisse et Carl Rogers (1902-1987) ou Rollo May

(1909-1994) aux Etats-Unis, et de psychologie clinique, ce qui ne l'empêchera pas de devenir triomphante en renouvelant la phénoménologie husserlienne (1900), en adoptant la méthode psychanalytique freudienne (1900) pour la psychologie des profondeurs (de l'inconscient), la méthode expérimentale pour la psychologie cognitive (1917) et les observations interculturelles pour la psychologie écologique (1911). Le cas de la psychologie illustre bien ce progressif basculement qui s'est opéré entre une période de certitude idéale, d'atteinte d'un savoir universel à défaut d'être unifié, vers un temps de doute qui verra un éparpillement de disciplines jalouses qui, au nom du progrès technique, se voudront les uniques détentrices de l'approche pertinente du savoir, bref, un passage culturel de la figure d'un savant omniscient, sauveur de l'humanité et grand prêtre du positivisme et du scientisme à celle de l'apprenti sorcier qui sera diabolisée après Hiroshima (1945), le progrès technique et scientifique se retournant alors brusquement contre l'humanité, comme l'historien Edgar Quinet (1803-1875) en avait eu la clairvoyante intuition. Ce sera cet aspect-là, qui verra néanmoins l'avènement des neurosciences en tant que sciences constituées du système nerveux et du cerveau, qui sera traité dans un cinquième volet à venir.

« Ce ne sont pas seulement les machines et les crédits qui
font le progrès. C'est avant tout la valeur des hommes. »
Charles de Gaulle (allocution radiotélévisée du 12 juillet 1961)

Bibliographie

Références communes aux troisième et quatrième parties

BENESH H. - *Atlas de la psychologie* - Collection La Pochothèque, Le Livre de Poche, Paris, 1995

CANGUILHEM G. - *La formation du concept de réflexe aux XVIIe et XVIIIe siècles* - Vrin, Paris, 1977 (2e éd.)

CLAIR J. (Sous la direction de) - *L'âme au corps : arts et sciences 1793-1993* - Eds Réunion des musées nationaux/ Gallimard/ Electa, Paris, 1993

CLARAC F. & TERNAUX J.-P. - *Encyclopédie historique des neurosciences : du neurone à l'émergence de la pensée* - De Boeck, Bruxelles, 2008

DAGOGNET F. - *Savoir et pouvoir en médecine. Les Empêcheurs de penser en rond* - Paris, 1997

DURIS P. & GOHAU G. - *Histoire des sciences de la vie* - Nathan, Paris, 1997

GANDOLFO G. & ARNAUD C. - *Les drogues légales : tabac et alcool* - Biologie-Géologie n°3, p. 515-539, 2001

GANDOLFO G. & GRAMMONT F. - *Les divers aspects de la neuroplasticité* - Biologie-Géologie n°2, p.291-312, 2005

GANDOLFO G. & MIQUEL P.A. - *La mémoire : une approche interdisciplinaire* - Biologie-Géologie n°2, p. 97-130, 2008

GANDOLFO G. & DESCHAUX O. - *Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration. Première partie : de la Préhistoire aux civilisations antiques du pourtour méditerranéen et asiatiques* - Biologie-Géologie n°2, p. 127-144, 2010

GANDOLFO G. & DESCHAUX O. - *Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration. Deuxième partie : du Moyen Age aux Lumières* - Biologie-Géologie n°3, p. 167-188, 2010

GANDOLFO G. & DESCHAUX O. - *Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration. Troisième partie : le temps des révolutions* - Biologie-Géologie n°4, p.171-192, 2010

GOHAU G. - *Biologie et biologistes* - Magnard, Paris, 1978

HECAEN H. & LANTERI-LAURA G. - *Evolution des connaissances et des doctrines sur les localisations cérébrales* - Desclee de Brouwer, Paris, 1977

KAYSER C. - *Traité de physiologie (3 vol.)* - Editions médicales Flammarion, Paris, 1969

KLEIN D.B. - *A history of scientific psychology* - Basic Books, New York, 1970

LANTERI-LAURA G.- *Le cerveau* - Seghers, Paris, 1987

MEULDERS M. - *Willam James* - Hermann, Paris, 2010

MOURRE M. - *Dictionnaire d'histoire universelle (2 vol.)* - Editions Universitaires, Paris, 1968

POPPER K.R. & ECCLES J.C. - *The self and its brain* - Springer International, Berlin, 1977

RAWLS W. - *Medicine : an illustrated history* - H.N. Abrams, New York, 1978

SAHAKIAN W.S. - *History and systems of psychology* - J. Wiley & sons, New York, 1975.

SCHULTZ D. - *A history of modern psychology* - Academic Press, New York, 1975

SEYFARTH E.A. - *Julius Bernstein (139-1917) : pioneer neurobiologist and biophysicist* - Biological Cybernetics, 94: 2-8, 2006

■

Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration

Cinquième partie : l'avènement des neurosciences

Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux

De science unifiée de l'Homme, selon la belle et généreuse idée révolutionnaire (voir *Biologie-Géologie*, 4-2010, p. 172), il n'y en a point eu. Pourtant, quand le terme de biologie, pour désigner la science de la vie, est apparu en 1802 conjointement dans *Biologie oder Philosophie der lebenden Natur* (*Biologie ou philosophie de la nature vivante*) du médecin, mathématicien et naturaliste allemand Gottfried Reinhold Tréviranus (1776-1837) et dans l'*Hydrogéologie* du naturaliste français Jean-Baptiste de Monet, chevalier de Lamarck (1744-1829), son champ d'étude était à l'origine très vaste : description des formes externes et internes (morphologie, anatomie), leur développement (embryologie), analyse des fonctions (physiologie) et des comportements (psychologie), établissement des classifications évolutives (botanique, zoologie, anthropologie), examen des sociétés, leurs rapports entre elles et avec les milieux (œcologie en 1866, devenue depuis écologie ; éthologie, sociologie). Mais, devant l'incapacité des biologistes à s'entendre sur la nature de l'esprit et sa relation au corps (voir *Biologie-Géologie*, 3-2007, p. 494 à 496), ne serait-ce que sur sa définition (voir *Biologie-Géologie*, 4-2006, p. 721 à 724), les psychologues vont faire sécession entraînant dans leur sillage des disciplines comme l'anthropologie et la sociologie pour former les Sciences humaines. L'administration universitaire entérinera la scission en rattachant ces dernières aux facultés de Lettres et les autres sciences biologiques aux facultés de Sciences. Or, il est bien évident que toute la science du système nerveux et du cerveau repose sur trois approches fondamentales, toujours éparpillées dans le maquis des campus universitaires, qui ont abouti à l'actuelle terminologie générique de neurosciences au fur et à mesure des progrès réalisés dans

➤ **Mots clés** : histoire des neurosciences, système nerveux, cerveau, méthodologie, médecine, chirurgie, psychologie, culture, pensée, philosophie, sociologie, économie

■ **Gabriel Gandolfo et Olivier Deschaux** : Maîtres de Conférences à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Laboratoire de neurobiologie et psychotraumatologie EA 4321, 28 Av. Valrose 06108 Nice Cedex 2

les méthodes et les techniques d'exploration de l'organisme et de l'esprit humains : l'approche biologique et physiologique, par le biais surtout de l'expérimentation animale, qui permet d'appréhender le fonctionnement nerveux et cérébral aux niveaux unitaire (cellule, molécules) et intégré (structures organiques) et relevant des facultés de Sciences ; l'approche psychologique, dispensée dans les facultés de Lettres et Sciences humaines, et qui va progressivement s'appuyer sur la première quand elle ne se limitera plus à la seule observation des conduites comportementales, reflet de notre activité psychique, mais se mettra à analyser le mécanisme des processus mentaux grâce notamment à l'imagerie cérébrale qui a donc fait passer la psychologie de science d'observation à une science d'investigation ; l'approche clinique enfin, dans les facultés de Médecine, qui se fonde sur les deux précédentes : la neurologie quand les pathologies sont d'origine organique, et la psychiatrie quand elles concernent la sphère mentale. De nos jours, les neurosciences tentent avec plus ou moins de bonheur de « fédérer » les différentes disciplines émiettées du cerveau et de l'esprit tout en leur conservant une certaine spécificité, comme par exemple les sciences cognitives nées à la fin des années 1950 de ce mouvement scientifique qu'Howard Gardner appellera en 1985 la « *révolution cognitive* », une approche interdisciplinaire du mental dédiée à l'étude et à la compréhension de la pensée humaine, animale ou artificielle, autrement dit à tout système complexe de traitement de l'information capable d'acquérir, de conserver, d'utiliser et de transmettre des connaissances : le cognitivisme a réussi à « *intégrer ainsi progressivement l'étude de l'esprit au sein des sciences biologique*s » (Noam Chomsky, 2005) en regroupant de multiples approches en neurobiologie, neurophysiologie, psychophysiologie, neuropsychologie, neuropsychiatrie, mais aussi en éthologie, anthropologie, linguistique cognitive et grammaire générative, philosophie analytique et de l'esprit et en informatique et intelligence artificielle. Ce qui montre bien, au-delà de l'hyperspécialisation de chacune des disciplines, la nécessité d'une approche globale pluridisciplinaire. C'est dans un objectif similaire qu'a d'ailleurs été inauguré le 24 septembre 2010 à l'hôpital parisien de la Pitié-Salpêtrière l'Institut du Cerveau et de la Moelle épinière (fondation ICM), consacré à la recherche en neurosciences et aux traitements des maladies cérébrales et nerveuses.

Un contexte paradoxal

Le paradoxe tient au fait que, malgré les progrès technologiques parfois spectaculaires (en biologie cellulaire et moléculaire, bioinformatique et biotechnologies notamment), l'image de la science contemporaine est devenue souvent source de suspicion et de défiance. Comme toujours, les lettres ont anticipé les faits : de la figure du savant, grand prêtre de la nouvelle religion scientiste (voir *Biologie-Géologie* 1-2011, p. 119) et sauveur de l'humanité, tel que l'a incarnée Jules Verne dans ses *64 Voyages extraordinaires* (de 1863 à 1897), on est passé à celle du savant fou et de l'apprenti sorcier avec le *Frankenstein ou le Prométhée moderne* (1818) de Mary Shelley, l'*Ubu roi* (1888) d'Alfred Jarry, qui prît pour modèle son professeur de physique, le *Dracula* (1897) de Bram Stoker, le *Meilleur des mondes* (1932)

d'Aldous Huxley ou encore *1984* (1949) de George Orwell. La conscience populaire s'éveilla surtout après Hiroshima et Nagasaki (1945), car l'apocalypse ne venait plus des dieux ou de la nature mais des hommes eux-mêmes, selon le constat du philosophe allemand Günther Anders (1902-1992), et les nombreux scandales politico-sanitaires de ces dernières années (nuage radioactif de Tchernobyl, sang contaminé, hormone de croissance, amiante, vache folle, l'hormone Distilbène donnée aux femmes enceintes, l'antidiabétique Médiator, l'insecticide Chlordécone, le Novabel utilisé en chirurgie esthétique, l'édulcorant Aspartame, l'hormone de synthèse Bisphénol A…) ne sont pas faits pour redorer le blason de la science et de la médecine, dès lors qu'elles se sont compromises avec la finance et la politique. Le philosophe Bernard Stiegler (2008) dénonce ainsi le fait que « *le paradigme scientifique a profondément muté. La science contemporaine n'est plus la science moderne. Elle a essentiellement affaire avec l'industrie. (…) Cette science-là n'a plus pour programme de décrire ce qui est, mais de faire advenir ce qui devient* ». Au temps des certitudes a ainsi succédé celui des doutes, comme l'atteste l'extrême judiciarisation de la médecine (en particulier aux Etats-Unis), car, à trop vouloir faire de cette dernière une science exacte, on a fini par oublier qu'elle est avant tout un art hippocratique basé sur la confiance entre le patient et le praticien (voir *Biologie-Géologie* 3-2007, p. 508 à 511).

Réduire néanmoins cette dérive à la seule sphère médico-scientifique serait injuste, car le discrédit concerne aussi bien le monde politico-économique (Zygmunt Bauman, 2000 ; Joseph Stiglitz, 2008) que le monde socioculturel et médiatique avec la marchandisation du corps, de l'esprit et du savoir, une réification source d'un antihumanisme triomphant (Jacques Généreux, 2010). Comment en est-on ainsi arrivé à la faillite du mythe progressiste (Jean-François Kahn, 2008) ? Essentiellement par la conjonction de deux causes. Dès 1913, Charles Péguy (1873-1914), qui fut autant poète que polémiste et essayiste, avait su anticiper les travers du progrès dans son pamphlet intitulé *L'Argent* et où il s'alarmait déjà du culte de l'argent-roi, de la perte de l'idéal, de la marchandisation du monde et de la dérive de l'école républicaine. Certes, la suprématie de l'argent n'est pas nouvelle, mais ce qui distingue la période contemporaine des précédentes, c'est l'extension du mercantilisme de l'ordre matériel aux choses de l'esprit, comme le dénonçait l'économiste François Perroux (1903-1987) : « *Toute société capitaliste fonctionne régulièrement grâce à des secteurs sociaux qui ne sont ni imprégnés, ni animés de l'esprit du gain et de la recherche du plus grand gain. Lorsque le haut fonctionnaire, le magistrat, le prêtre, l'artiste, le savant sont dominés par cet esprit, la société croule et toute forme d'économie est menacée. Les biens les plus précieux et les plus nobles dans la vie des hommes, l'honneur, la joie, l'affection, le respect d'autrui ne doivent venir sur aucun marché* ». La monétarisation de notre univers mental a ainsi miné la société par la financiarisation pervertisseuse de la science et de la religion, de l'éducation et de la recherche, de l'art et du jeu, de la médecine et de l'urbanisme.

La seconde cause de défiance réside dans l'accélération sociale du temps (Jean-Louis Servan-Schreiber, 2010) : nous sommes devenus prisonniers du court terme, possédés par la soif du changement, flexibles à souhait, emportés par le turbo-

capitalisme ; tout cela a engendré une perte progressive de l'expérience et une accélération perpétuelle du rythme de vie que le sociologue allemand Hartmut Rosa (2010) tient pour responsables de la décadence de l'idée de progrès. Au point que l'écrivain d'origine tchèque Milan Kundera fera l'éloge de la lenteur dans son roman éponyme écrit en français en 1995. Du passage d'une société de production à une société de consommation dominée par la communication, que Michel Serres avait anticipé dès les années 1970 dans sa série des *Hermès*, va émerger la révolution informatique permettant aux savoirs de circuler à pleine vitesse sur l'ensemble de la planète. L'universalité des connaissances scientifiques, conjuguée à l'argent en tant qu'instrument des échanges économiques, a alors condamné chacun de nous à faire confiance à la compétence des autres, à être tributaire des connaissances d'autrui : le progrès technico-scientifique a ainsi rendu l'organisation de la vie quotidienne obsolète et a dépassé les capacités de compréhension de la majorité d'entre nous. Ce hiatus entre connaissances et compréhension a fait basculer, par un effet de balancier, l'idéologie technophile et industrialiste des deux siècles derniers en un scepticisme envers le progrès, voire une technophobie (voir par exemple les polémiques sur les Organismes Génétiquement Modifiés, les nanoparticules, les portables et les antennes relais, l'énergie nucléaire, la controverse entre le Groupe d'Information sur l'Evolution du Climat et les « *climato-sceptiques* » ou encore celle suscitée lors de la récente politique vaccinale). Nous vivons donc dans une « *société de défiance généralisée* » selon l'expression employée par la sociologue Dominique Schnapper dans sa leçon inaugurale (« *En qui peut-on avoir confiance ?* ») des XXVe Rencontres de Pétrarque à Montpellier (19-23 juillet 2010), dont l'une des journées était d'ailleurs consacrée au thème : « *La science nous ment-elle ?* », une question révélatrice de l'actuelle crise de confiance.

Les révolutions modernes, qu'elles soient politiques, économiques, sociales ou culturelles, ont sapé toute autorité institutionnelle (François Dubet, 2002), morale (Dany-Robert Dufour, 2009), spirituelle (Marcel Gauchet, 1985) ou intellectuelle (Alain Renaut, 2004), entraînant une crise de la culture (Hannah Arendt, 1972) et la disparition de la figure du génie : « *Le prestige ne peut aller sans mystère, car on révère peu ce qu'on connaît trop bien* » écrivait Charles de Gaulle dans le *Fil de l'épée* (1971) ; or, les moyens actuels d'information, mus par le fantasme d'une visibilité universelle, ont transformé l'existence des hommes en images, donc en marchandises « consommables » faisant par exemple d'un lauréat du Prix Nobel non plus un savant, un génie, mais seulement un directeur de laboratoire ou un chef d'entreprise plus rusé et tenace que les autres. Dans une société mondialisée, prise dans les tourbillons d'une spirale consumériste sans fin (Richard Powers, 2009), toute fonction publique a été dévalorisée (Jacques Cotta, 2011) au profit de groupes oligarchiques (Alain Cotta, 2011). Le dévouement et le sens de l'Etat et de la collectivité ont laissé place à un individualisme forcené, basé uniquement sur la compétition, la concurrence, le rendement à moindre coût et la peur du déclassement (Camille Peugny, 2009). L'enseignant, figure naguère emblématique et respectée de cette école publique, gratuite et laïque qui faisait la fierté et l'originalité de la République française, n'arrive même plus à s'opposer à celle du magnat de la finance ou à d'autres profils « bankables » (pour utiliser un néologisme américain à la mode), idéologie de la réussite à tout prix, tyrannie de la productivité, glorification

de l'argent, darwinisme social étant incompatibles avec les valeurs censées être véhiculées par l'école. Le chercheur, de plus en plus spécialisé, travaille le plus souvent exclusivement dans son pré carré. La science se borne à l'innovation alors que son objectif premier est la connaissance pour elle-même. La médecine, non plus seulement curative, mais devenue intrusive dans la vie sociale (assistance médicale à la procréation, gestation pour autrui, diagnostic génétique pré-implantatoire, don de gamètes, don croisé d'organes, clonage reproductif, euthanasie…) est sans cesse écartelée entre le contrôle des lois bioéthiques (depuis 1994 en France) et les pressions du « biomarché » (sous le couvert des droits à l'enfant et autres droits se dissimulent souvent des enjeux financiers colossaux). Le détournement marchand de tout progrès a ainsi fait que les avancées médico-chirurgicales les plus spectaculaires, comme par exemple dans le domaine des greffes d'organes, ont aussi engendré le mercantilisme le plus abject, tel que le trafic d'organes humains. D'aucuns n'hésitent d'ailleurs pas à attaquer les derniers mythes de la science (Henri Atlan, 1994) ou à dénoncer son rôle dans « *l'absurdité contemporaine* » (Olivier Rey, 2003), car elle ne représente assurément plus le triomphe de la raison absolue, comme à l'époque du scientisme (voir *Biologie-Géologie* 1-2011, p. 117 à 119) et que le progrès se perd aujourd'hui entre bienfaits et périls (Axel Kahn, 2010). Parce qu'en cherchant à appliquer les normes de l'Occident scientifique et industriel au monde entier, on a modifié, comme l'a montré Claude Lévi-Strauss (1908-2009) au travers de son œuvre, l'idée même de progrès telle qu'elle prévalait au XIXe siècle. Armes et moyens de contrôle sophistiqués, désastres écologiques, technologies modernes au service de la spéculation financière, les effets du progrès sont aujourd'hui invoqués comme autant de calamités naturelles dans la bouche des gouvernants pour masquer leur impuissance. Et les Français d'être fatigués de « *cette étrange modernité qui nous condamne à la régression sociale* » (Eric Dupin, 2011) !

Les ultimes révolutions méthodologiques

Laissons volontairement de côté toutes les techniques contemporaines de la biologie et physiologie cellulaire et moléculaire utilisées bien sûr par l'approche neuroscientifique mais qui ne lui sont pas particulièrement spécifiques, pour évoquer celles propres à son champ d'étude et sources d'un progrès considérable.

L'imagerie cérébrale

La méthode anatomo-clinique (voir *Biologie-Géologie*, 4-2010 : p. 173) ayant voulu s'affranchir de l'autopsie, seul moyen *post-mortem* de confirmation diagnostique, le vieux rêve hippocratique de « *l'Homme transparent* » fut ainsi réactivé : il s'agissait de pouvoir « *voir à l'intérieur du corps sans nuire* ». Un premier pas dans sa réalisation a été franchi avec la découverte en 1895 des rayons X par l'Allemand Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), dont il fut récompensé par l'attribution en 1901 du tout premier Prix Nobel de physique. Le premier cliché radiographique a été celui de la main de son épouse, où on distingue clairement la bague qu'elle

porte. Ces rayons qui traversent les corps opaques vont rapidement être associés à une autre découverte prodigieuse : la photographie en 1822 par Nicéphore Niepce (1765-1833). Bien sûr, la médecine en avait rapidement profité et aux dessins anatomiques avaient succédé les clichés photographiques : en 1870, le médecin et physiologiste Guillaume Duchenne de Boulogne (1806-1875) réalisa ainsi le premier atlas photographique de neurophysiologie et, en 1885, était créé le service photographique de l'Institut Pasteur. C'est donc en combinant ces deux découvertes majeures que naquit la radiologie: à la différence du négatif photographique où le contraste apparaît par la quantité de lumière réfléchie sur les objets photographiés, le négatif radiographique présente toutefois des contrastes qui dépendent de la quantité de rayonnement absorbé par les différents tissus de l'organisme, ceux qui ont tendance à retenir les rayons X comme les os (mais pas le cerveau !) apparaissant alors plus clairs. Il n'empêche que la radiographie de la région céphalique révéla l'anatomie complexe du crâne et impulsa un grand élan des connaissances neurologiques, l'émergence de la neurochirurgie et de la cancérologie de la tête. Mais les premiers radiologues découvrirent, aux dépens de leur santé, la nocivité des rayons X. On chercha néanmoins à améliorer la qualité de l'image en administrant des liquides radio-opaques augmentant les contrastes ou en utilisant des écrans plus sensibles, provoquant l'essor notamment de l'angiographie, qui permet une radiographie des vaisseaux sanguins : l'artériographie cérébrale par voie carotidienne et vertébrale aboutira même à une approche thérapeutique par le cathétérisme des petites collatérales artérielles à l'intérieur du cerveau. Autre façon d'accroître les contrastes, par de l'air (qui n'absorbe pas les rayons X) injecté par ponction lombaire et moulant ventricules, citernes et sillons encéphaliques, apparaissant alors en noir, d'où le nom de « *contraste négatif* » (1912) : ainsi est née l'encéphalographie gazeuse. La ventriculographie iodée verra à son tour le jour en opacifiant directement les ventricules cérébraux au moyen d'un produit de contraste iodé injecté dans le ventricule latéral à l'aide d'une seringue passant au travers d'un orifice de trépanation.

Le véritable bond en avant de la neuroradiologie conventionnelle, qui n'offrait donc qu'une vision indirecte du cerveau, viendra de la tomographie, mise au point en 1915 par le Français André Bocage (1892-1953), et qui permettra, par déplacement du tube à rayons X et du film, de visualiser les organes par couches minces successives, uniquement frontales et sagittales. Le premier appareil manuel, doté d'un compteur de Geiger-Müller, apparaît en 1950 et sera amélioré l'année suivante par le biophysicien américain Benedict Cassen (1902-1972) qui créera un système tomographique rectilinéaire. L'apport de l'informatique changera tout : elle supprime en effet les superpositions des différentes régions crâniennes variant selon la direction du rayon incident (« *incidences radiologiques* ») et autorise les coupes horizontales. Cela s'est passé en Angleterre, quand l'éditeur de musique EMI, désespéré par la séparation en 1968 de son meilleur groupe de chanteurs, les Beatles, décida de porter ses efforts sur le département d'électronique biomédicale de l'entreprise : c'est là que travaillaient Alan McLeod Cormack (1924-1998), un mathématicien et physicien américain d'origine sud-africaine, et Godfrey Newbold Hounsfield (1919-2004), un ingénieur anglais, les futurs lauréats du Prix Nobel de médecine de 1979. Ils construisirent ainsi en 1971 un appareil de balayage

électronique qu'ils nomment EMI-scanner (de l'anglais *to scan* : balayer) et qui fait enfin apparaître les parties molles du corps, et donc le cerveau. La méthode, appelée aussi tomodensitométrie (du grec *tomein* : couper, sectionner), remplace le film radiographique par des détecteurs électroniques, dont les données sont numérisées et stockées dans la mémoire d'un ordinateur qui, par un procédé mathématique très complexe (analyse de Fourier), calcule point par point les valeurs des densités d'absorption des rayons X de la coupe réalisée et qu'il restitue sous la forme d'une image pixélisée. Ainsi naîtra une vision anatomique *in vivo* et numérisée de l'encéphale. Si la méthode, dont l'application était initialement limitée à la boîte crânienne avant de s'étendre au reste du corps, est indolore, elle soumet toujours le patient à un rayonnement nocif. De plus, si on quantifie correctement la densité des tumeurs, certaines lésions (petits accidents vasculaires, sclérose en plaques) lui échappent.

Il fallait donc et se débarrasser des radiations et améliorer le pouvoir d'analyse. Ce sera chose faite dès 1971 avec l'IRM (imagerie par résonance magnétique), dérivée d'une ancienne méthode américaine nommée RMN (résonance magnétique nucléaire), mise au point en 1945 par les physiciens Edward Mills Purcell (1912-1997) à Harvard et Félix Bloch (1905-1983) à Stanford (d'origine suisse, ce dernier sera le premier directeur général du CERN à Genève) et lauréats du Prix Nobel de physique en 1952. Cette terminologie provient du fait que le noyau (d'où « *nucléaire* ») de certains atomes, comme l'hydrogène, le plus présent des atomes biologiques puisque l'eau compose 70 % du corps humain, possède des propriétés magnétiques (d'où « *magnétique* ») qui lui font absorber sélectivement (d'où « *résonance* ») l'énergie délivrée par une onde électromagnétique semblable à celle d'une onde radio (*radiofréquence*). Le principe de base consiste ainsi à utiliser un électroaimant très puissant maintenu à l'état supraconducteur qui polarise dans son champ magnétique intense tous les électrons de la matière cérébrale : une fois orientés dans la même direction, on analyse alors leur comportement en pulsant par des antennes des ondes de radiofréquence qui les font vibrer ; les électrons reprennent ensuite leur position originelle en émettant une onde électromagnétique dite de résonance ; traitées par ordinateurs, ces ondes permettent d'obtenir des images contrastées des tissus organiques d'une très grande précision, donc une vision complète et en totale innocuité de l'anatomie céphalique *in vivo*. L'usage de gradients de champs magnétiques pour exciter sélectivement telle ou telle partie de l'organisme, conçu par le chimiste américain Paul Christian Lauterbur (1929-2007), et l'analyse mathématique des signaux radios introduite par le physicien anglais sir Peter Mansfield (né en 1933) rendant possible leur conversion en une image exploitable, ont alors rendue réalisable en 1977 l'IRM fonctionnelle (IRMf) qui permet de suivre la répartition et l'utilisation d'une substance radioactive injectée dans l'organisme, donc d'étudier son fonctionnement : ces deux chercheurs ont partagé le Prix Nobel de médecine en 2003. Des variantes ont vu le jour (*fig. 10*). La tomographie par émission de positons (TEP ou PET-scan en anglais), qui, comme son nom l'indique, n'utilise que les électrons positifs (positrons ou positons), permet d'évaluer le métabolisme des tissus : elle nécessite l'injection d'un produit radioactif (fluorodésoxyglucose, méthionine…) ou exploite un émetteur bêta (isotope naturel de carbone, oxygène, fluor…). La tomographie par émission mono-photonique (TEMP ou SPECT en anglais), qui fait donc usage des électrons de la lumière (photons),

TECHNIQUE	PRINCIPE	AVANTAGES	INCONVENIENTS	APPLICATIONS
Scintigraphie	Atomes radioactifs non toxiques fixés à des molécules d'origine humaines	Mesure du rayonnement naturel du cerveau	Macro-observation	Cartes détaillées des activités cérébrales complexes (écouter un texte, compter à voix haute…)
Tomodensitométrie (scanner)	Combinaison rayons X et informatique. Usage de produit de contraste iodé	« Coupes » du cerveau sans traumatisme	Nocivité des rayons X Allergie à l'iode	Localisation « grossière » de lésions Test du niveau de conscience chez les comateux
Résonance magnétique nucléaire (IRM)	Analyse du comportement des noyaux d'hydrogène soumis à un champ magnétique intense	Pouvoir de résolution de l'ordre du mm Pas d'injection radioactive	Sédation nécessaire des enfants, des claustrophobes Pas d'implants aimantables	Images anatomiques très précises
Tomographie par émission de positons (TEP)	Variante n'utilisant que des électrons positifs Usage d'un radiotraceur	Couplage à de puissants ordinateurs permettant : La constitution de cartes cérébrales en 3 dimensions La construction de modèles virtuels	Emission de rayonnement β+ Pas en cas de grossesse ou de diabète	Localisation en 3D des lésions Visualisation précise des tumeurs Images fonctionnelles des grandes activités cérébrales Neurochirurgie vidéo-assistée
Tomographie par émission mono-photonique (TEMP)	Variante n'utilisant que les électrons de la lumière Usage d'un radiotraceur		Emission de rayonnement γ Période du radioélément Agent chélatant nécessaire	
Spectroscopie par résonance magnétique	Combinaison radiochimie et informatique. Dispersion d'un rayonnement sous forme de spectre	Exploration du métabolisme (consommation d'oxygène, du glucose…)	Traitement mathématique lourd : puissance de calcul importante (1 heure pour l'obtention d'une image)	Détection précoce d'anomalies métaboliques qui précèdent la formation de lésions
Analyse 4D	Images IRM « fixées » géométriquement grâce à la stéréotaxie	Exploration de la dimension temporelle		Suivi dans le temps de lésions, de la récupération (plasticité, neurogreffes…) Compréhension des processus cognitifs
IRM de diffusion	Analyse des mouvements aléatoires des molécules d'eau	Détection rapide de l'activité neuronale		Traitement précoce et en urgence avant le développement d'une lésion

10. Comparaison des principales techniques d'imagerie cérébrale

constitue des cartes des fonctions cérébrales en trois dimensions grâce à de puissants ordinateurs. La spectroscopie par résonance magnétique, qui combine radiochimie et informatique, permet d'explorer localement la consommation du glucose (rendu radioactif par du fluor[18]) ou de l'oxygène, en détectant les propriétés magnétiques de l'hémoglobine qui diffèrent légèrement selon qu'elle est ou non liée à l'oxygène (désoxyhémoglobine) quand le tissu cérébral prend ce dernier amené par le sang. Le but de ces méthodes est de réaliser une cartographie cérébrale d'activité selon le principe qu'une zone active consomme plus d'oxygène et de glucose qu'une zone au repos, mais aussi de détecter dans le cerveau des anomalies métaboliques très précocement, avant même que la lésion ne soit visible par les techniques plus classiques et que l'encéphalopathie n'évolue. Enfin, une analyse 4D (en quatre dimensions) explore la dimension temporelle, donc le suivi dans le temps d'une lésion ou de la récupération post-thérapeutique, en « fixant » géométriquement des images grâce à la stéréotaxie. La durée d'obtention des images pouvant nécessiter jusqu'à une heure en raison de la lourdeur de leur traitement mathématique, un appareil dit « multibarrette » a vu le jour en 2002 : il permet d'accélérer la vitesse d'acquisition des images (jusqu'à 350 par examen), la rotation complète autour du patient s'effectuant en seulement 0,42 seconde pour éviter les problèmes liés aux mouvements ou à la respiration. En 2009, une imagerie de diffusion a été mise au point. Basée sur les mouvements browniens (aléatoires) des molécules d'eau dans l'organisme, elle est exempte de toute utilisation de substances radioactives et permet une détection rapide de l'activité neuronale : les cellules cérébrales activées changent de structure et modifient le signal de l'IRM de diffusion ; le patient peut ainsi recevoir un traitement en urgence avant qu'une lésion ne devienne importante. Le traitement des images céphaliques numérisées obtenues par ces diverses techniques a enfin permis la reconstruction tridimensionnelle du cerveau et du crâne, ouvrant ainsi la voie à la pédagogie anatomique, la simulation chirurgicale et, avec les progrès de la neurochirurgie stéréotaxique et de la robotique (voir ci-après), à l'imagerie interventionnelle, la médecine nucléaire, la chirurgie vidéo-assistée (usage de « neuronavigateur ») et le développement de réseaux de communication des images : CAT-CAD-CAM (Computer Assisted Tomography, Design, Modeling) ; PACS (Picture Archiving Computerized Systems) ; RNIS (Réseau Numérique Intégré de Service), etc…

D'autres techniques ont vu aussi le jour pour pallier l'inconvénient de la radiotransparence des tissus mous aux rayons X. Il en est ainsi de la scintigraphie d'émission gamma (ou gamma-caméra ou gammagraphie), mise au point en 1957 par l'ingénieur américain Hal Oscar Anger (1920-2005). Elle utilise des radio-isotopes ou traceurs radioactifs non toxiques fixés à des molécules d'origine humaine et injectés par voie intraveineuse : ils s'intègrent électivement dans certains tissus, qui émettent un rayonnement naturel, dont on n'a plus qu'à capter les radiations grâce au scintigraphe, qui traduit les impulsions reçues en images. Les données fournies sont précieuses pour étudier la morphologie, le métabolisme ou la vascularisation des divers organes du corps. On a pu par exemple réaliser au niveau du cerveau des « idéogrammes », des cartes détaillées des activités cérébrales complexes (comptage à haute voix, contraction de la main, écoute d'un message…). L'échographie, depuis 1980, utilise la réflexion (écho) des ultra-sons qui pénètrent dans les tissus vivants avec différentes impédances (résistances) : une sonde avec un cristal qui,

soumis à un champ électrique, émet des ultra-sons, est mise au contact de la peau, ce qui permet d'explorer les tissus mous (foie, pancréas, vésicule biliaire, reins, utérus, mais aussi le cœur et plus difficilement le cerveau, à cause de l'épaisseur du crâne). La même technique d'ultrasonographie dite à effet Doppler pulsé, du nom de l'Autrichien Christian Doppler (1803-1853) qui a montré une altération apparente de la fréquence du son lorsque la source et l'observateur sont en mouvement relatif, permet de mesurer le flux sanguin intra-artériel. Des échodopplers transpariétaux ont pu être ainsi réalisés pour vérifier la vascularisation cérébrale, notamment du polygone de Willis, un important réseau de vaisseaux cérébraux. Une autre technique d'exploration, la fibroscopie, apparue vers 1960, consiste à utiliser des fibres de verre souples, qui captent et transmettent la lumière jusqu'à l'intérieur du corps, ce qui a permis d'explorer entre autres les organes sensoriels (otoscopie pour le tympan, ophtalmoscopie pour le fond d'œil, rhinoscopie pour la fosse nasale) et phonatoires (laryngoscopie pour les cordes vocales), ainsi que les cavités du cerveau (ventriculoscopie cérébrale), nécessitant tout de même un petit trou dans la boîte crânienne.

Outre ses applications dans les domaines de la santé (étude du vieillissement normal et pathologique, des déficits sensorimoteurs, de la plasticité cérébrale, des maladies mentales…) et de la recherche neuropsychosociologique (cartographie fonctionnelle du cerveau, formation des images mentales, exploration cérébrale des émotions sociales : empathie, compassion, relations amicales ou amoureuses…), l'imagerie cérébrale jouit également d'un intérêt grandissant dans l'éducation et la pédagogie (apprentissage des langues et bilinguisme précoce ; apprentissage d'instruments de musique et reconfiguration cérébrale ; interactions entre cognition visuelle et spatiale, entre la correction d'une erreur de logique et les émotions ressenties ou la conscience de soi…), les médias et la publicité (exploration de l'inconscient cognitif lors d'une perception subliminale), la politique et la justice (mécanismes cérébraux de la prise de décision et du jugement), la bourse et l'entreprise (exploration cérébrale lors d'un raisonnement économique, d'une mise en confiance), les sports de haut niveau, la danse et le cirque (simulation mentale de l'action, mouvements imaginés pour améliorer les performances).

Les techniques d'imagerie biomédicale ont ainsi enrichi la panoplie des méthodes d'exploration non invasives et non traumatiques, notamment celles qui se basent sur l'activité naturelle bioélectrique du corps. Les cellules vivantes étant polarisées, il s'agit donc de recueillir leurs variations électriques à la surface du corps par des électrodes appliquées sur la peau et reliées par des fils conducteurs à un appareil comportant un amplificateur, un galvanomètre et un système d'inscription sur un papier se déroulant à vitesse constante. C'est ainsi que sont apparus l'électromyogramme pour l'activité musculaire, l'électrorétinogramme pour le fonctionnement des cellules de l'œil, l'électro-olfactogramme pour celui du nez, etc., sans oublier l'électro-dermogramme, qui enregistre les variations électriques cutanées en fonction des émotions ressenties par le sujet (réponse électrodermale) et qui aura une application bien particulière avec le détecteur de mensonges. En ce qui concerne le cerveau, parallèlement aux images anatomiques et fonctionnelles, on a donc recherché des « images » de son activité électrique d'abord et magnétique par

la suite. Dès 1875, l'Ecossais Richard Caton (1842-1926) fit les premières mesures de voltage généré par le cerveau à l'Université de Liverpool. Mais l'électroencéphalographie (EEG) acquit ses véritables lettres de noblesse grâce au psychiatre allemand Hans Berger (1873-1941) : en utilisant le galvanomètre mis au point par le physiologiste néerlandais Willem Einthoven (1860-1927) pour l'usage de son électrocardiographe en 1903, il effectua son premier enregistrement en 1925 sur le cuir chevelu de son jeune fils, en y introduisant d'abord des tiges de platine, avant de s'apercevoir que des disques métalliques placés à même la peau faisaient tout aussi bien l'affaire. Mais il garda pour lui ses résultats jusqu'en 1929, où son rapport se heurta au scepticisme de la communauté scientifique. Conscient néanmoins de l'importance de cette découverte, Lord Edgar Adrian (1889-1977), lauréat du Prix Nobel de médecine en 1932 (voir *Biologie-Géologie* 1-2011, p. 133), invita Berger, qui résidait alors à Iéna, à venir travailler avec lui à Cambridge. Du coup, dans une vague d'enthousiasme sans précédent, l'on se fit fort, par l'analyse de ces ondes cérébrales, d'aller tout expliquer ! L'engouement passé, il n'en demeure pas moins que cette méthode permet de mesurer l'activité globale et continue des neurones cérébraux, les ondes observées étant la somme des différentes oscillations électriques produites par les diverses assemblées cellulaires, dont chacune se superpose pour donner le tracé global enregistré, dont la fréquence va dépendre de l'état de conscience (éveil, sommeil, rêve, coma) du sujet. En adaptant la technique d'enregistrement EEG à des petits calculateurs électroniques spécialement conçus pour extraire un signal bioélectrique apparaissant à intervalles réguliers au sein d'un bruit de fond aléatoire, on a pu alors recueillir directement sur le cuir chevelu des *potentiels évoqués ou événementiels*, c'est-à-dire des réponses du système nerveux central provoquées par la stimulation de récepteurs sensoriels visuels ou auditifs ou encore des nerfs sensitifs cutanés. Un progrès considérable quand on sait que jusque-là on ne pouvait enregistrer ces potentiels évoqués que directement sur la surface des aires corticales à la faveur d'une intervention neurochirurgicale sur le cerveau humain, et, bien évidemment, en expérimentation animale. Des modifications significatives des potentiels évoqués sont le reflet des fonctions cognitives et peuvent servir d'indice de troubles pathologiques : ils complètent donc utilement les observations cliniques faites à partir de l'EEG. La numérisation du signal permet enfin depuis les années 1950 une représentation morphologique de ce qui n'était, auparavant, qu'un tracé : il s'agit de la cartographie électro-encéphalotomographique.

À son tour, la magnétoencéphalographie (MEG) s'imposa comme imagerie complémentaire en mesurant les champs magnétiques induits par l'activité électrique des neurones cérébraux. En effet, le magnétisme prend son origine dans les propriétés des électrons comme l'a expliqué la physique quantique : leur état quantique de spin est responsable du *magnétisme de spin* ; le *magnétisme orbital* est imputable au mouvement orbital des électrons autour du noyau de l'atome, noyau qui possède lui-même un *magnétisme nucléaire*. Le magnétisme est ainsi produit par des charges électriques en mouvement : c'est le physicien danois Hans Christian Oersted (1777-1851) qui a fait le lien vers 1820 entre l'électricité et le magnétisme, considérés jusque-là comme deux domaines entièrement séparés ; le chimiste et physicien anglais Michael Faraday (1791-1867) énonça alors la loi qui porte son nom et selon laquelle le champ magnétique produit est d'autant plus fort que

l'intensité du courant électrique est importante. Mais l'activité électrique de neurones individuels étant très faible, les champs magnétiques induits ne peuvent être détectés que par l'activité synchrone de plusieurs milliers de neurones : malgré l'usage de magnétomètre à SQUID (Supraconducting Quantum Interference Device), permettant une mesure de champs magnétiques très faibles (de l'ordre de quelques femtoteslas), la MEG demeura surtout confinée à la détection de foyers épileptogènes avant résection chirurgicale et nécessitait l'implantation d'électrodes intracrâniennes. Depuis 2006, des progrès au niveau des capteurs (jusqu'à 300 canaux, chacun associé à un SQUID, par appareil, donc autant de points de mesure autour de la tête) lui ont ouvert des applications élargies aussi bien en clinique qu'en neurosciences cognitives : en permettant une dissection temporelle des opérations cognitives, on pourra par exemple savoir comment le cerveau du nourrisson est organisé pour la langage, comment cette organisation est altérée chez le dyslexique, mais aussi quelles sont les conséquences de l'épilepsie infantile sur le développement cognitif. La MEG est également intéressante comme outil de diagnostic précoce et de suivi de maladies neurodégénératives ou encore d'assistance aux neurochirurgiens dans leur stratégie opératoire.

Arsène d'Arsonval (voir *Biologie-Géologie* 4-2010, p. 178) fut le premier à étudier en 1896 l'effet de la stimulation magnétique du cortex cérébral. Il faudra cependant attendre les années 1980 pour voir apparaître un appareillage de stimulation magnétique transcrânienne (SMT) permettant une utilisation clinique. Son couplage récent avec deux des techniques d'imagerie, l'IRM et l'EEG, donnant respectivement la localisation précise de la stimulation par rapport à l'anatomie cérébrale individuelle du patient et la possibilité de suivre la façon dont le cerveau réagit, a permis, en excitant simultanément (donc en synchronisant) des ensembles de neurones corticaux, d'explorer leurs caractéristiques fonctionnelles quand ils sont engagés dans diverses tâches sensori-motrices, cognitives ou perceptives et d'identifier d'éventuels dysfonctionnements à travers des anomalies dans la réactivité et la connectivité corticales. La SMT trouve ainsi son utilité aussi bien en clinique, à la fois comme outil d'affirmation diagnostique et de thérapie (dépression, schizophrénie, maladie de Parkinson, hallucinations auditives pharmaco-résistantes, troubles obsessionnels compulsifs…), qu'en recherche neuroscientifique en engendrant une lésion artificielle temporaire d'une zone cérébrale donnée pour en déduire des informations sur son rôle fonctionnel et les capacités plastiques de récupération (voir *Biologie-Géologie* 2-2005, p. 306 à 311).

Dernière née des techniques d'imagerie : l'optogénétique, ainsi dénommée en 2006 après quelques débuts balbutiants (voir Karl Deisseroth, 2011), dans la mesure où elle associe les outils de la génétique et de l'optique pour contrôler les événements cellulaires de tout tissu vivant (Toettcher et *al.*, 2011) et pas seulement du tissu nerveux. Tout a commencé dans les années 1970 quand on a découvert que certains micro-organismes utilisent des protéines, les opsines (des canaux ioniques en fait), activées par la lumière : l'archéobactérie *Natronomonas pharaonis* régule ainsi le flux des ions chlorure en réactivité à la lumière jaune, l'algue unicellulaire *Chlamydomonas reinhardtii*, celui des ions sodium en réaction à la lumière bleue, et les colonies d'algues *Volvox carteri* réagissent à la fois à la lumière jaune et verte.

Ces opsines possèdent donc le pouvoir potentiel de contrôler l'émission et la durée des potentiels d'action. Le principe de l'optogénétique est d'associer un gène d'opsine à un « promoteur » le rendant actif dans un certain type de cellules (par exemple des neurones à glutamate), d'insérer le tout dans un virus non pathogène, qu'on injecte ensuite dans le cerveau d'un animal libre de ses mouvements : si le virus infecte de nombreux neurones, seuls certains d'entre eux, à cause du promoteur, fabriqueront de l'opsine. Il n'y a plus qu'à insérer dans le cerveau des fibres optiques pour y envoyer de la lumière et contrôler ainsi les neurones ayant exprimé l'opsine. Les progrès de l'ingénierie moléculaire ont même permis d'étendre le contrôle optogénétique, au-delà de l'activité électrique des neurones, aux réactions biochimiques, en créant des opsines synthétiques (Airan et *al.*, 2009).

Si l'IRMf montre, comme on l'a vu, les modifications locales du taux de glucose ou d'oxygène dans les régions cérébrales, ces variations ne donnent cependant qu'une approximation de l'activité neuronale. En associant les deux techniques, on peut alors obtenir une cartographie très précise des circuits neuronaux. Utilisée pour l'instant qu'en expérimentation animale (notamment chez des modèles animaux de pathologies cérébrales), l'optogénétique est promise à avoir des applications cliniques. Par exemple, dans la maladie de Parkinson, si la technique de stimulation intracérébrale profonde, déjà pratiquée avec un certain succès, apporte un mieux indéniable, elle est néanmoins limitée dans la mesure où les électrodes stimulent de manière non sélective les cellules voisines ; l'optogénétique permettrait, quant à elle, de cibler non pas les neurones mais les connexions synaptiques pour une plus grande sélectivité. Cette technique récente a également montré que les ondes γ enregistrées dans le cerveau par l'EEG chez des patients souffrant d'anomalies dans le traitement cérébral des informations (schizophrénie, paranoïa, autisme…), ce qui perturbe donc la communication sociale et le comportement, sont sans doute dues aux cellules à parvalbumine qui renforcent le flux d'informations dans les circuits corticaux.

L'optogénétique est ainsi plus qu'une simple technique d'imagerie car elle est aussi une méthode potentielle de modulation du cerveau, au même titre que les médicaments psycho-actifs ou les interventions neurochirurgicales, et donc plus ou moins chargée de considérations éthiques, à savoir le contrôle putatif de certains aspects de la personnalité (émotions, volonté, souvenirs…) autrement dit de l'esprit même.

Les neurogreffes

Pouvoir greffer une tête dans sa totalité ou un nouveau cerveau dans un corps entier ou l'inverse (greffe du corps entier) est un fantasme des plus archaïques qui s'enracine dans la littérature populaire et les films d'épouvante ou de science-fiction. Pourtant, certains médecins vont en tenter la réalisation, cherchant l'exploit dans une sorte de surenchère de l'horreur, du moins telle qu'elle a pu paraître aux yeux du *vulgum pecus*, contribuant ainsi à décrédibiliser tout un secteur de la recherche médico-scientifique. En 1928 au cours du 3e Congrès de Physiologie de l'Union Soviétique, Sergei Bryukhonenko (1890-1960), l'un des directeurs de

l'Institut de Recherche en Chirurgie expérimentale, fit ainsi une démonstration qui retentit dans toute l'Europe : au moyen d'un système de circulation extracorporelle et d'anticoagulants, il parvint à garder en vie pendant plus de trois heures une tête de chien décapitée qui répondait à de nombreux stimulus (tressaillement à un bruit violent, contraction pupillaire à la lumière, léchage d'un jus de citron versé sur les lèvres…). En 1954, un autre chirurgien russe, Vladimir Petrovich Demikhov (1916-1998), greffa la tête et les pattes antérieures d'un chiot sur le cou d'un berger allemand (*fig. 11*) : malgré un système circulatoire commun, les deux têtes vivaient des vies séparées, l'une dormant pendant que l'autre était réveillée ou lapait du lait. Une vingtaine de « cerbères » de cette sorte furent fabriqués, mais ne survécurent pas longtemps (29 jours pour le plus résistant) à cause d'infections postopératoires.

Face aux critiques soulevées par le reportage intitulé « *Russia's two-headed dog* » dans la revue Life du 20 juillet 1959 et niant tout intérêt scientifique à ses expériences spectaculaires, Demikhov répondit que son but était de réussir des greffes d'organes vitaux chez l'Homme : il sera ainsi considéré comme un pionnier en la matière par Christiaan Neethling Barnard (1922-2001), le chirurgien sud-africain qui réalisa la première transplantation cardiaque en 1967. Pourtant, Demikhov avait eu un prédécesseur, moins connu, en la personne du physiologiste américain Charles Claude Guthrie (1880-1963), qui avait, en 1908, effectué la greffe vasculaire d'une tête de chien décapitée sur le côté du cou d'un autre chien, la tête ainsi greffée montrant contraction de la pupille, frémissements des narines et mouvements de la langue. Ultime étape : greffer une tête décapitée sur un corps sans tête. Elle sera franchie en 1970 par un chirurgien américain, Robert White (né en 1925) : il détacha la tête d'un singe pour la greffer sur le corps étêté d'un autre, mais la créature ne survécut pas plus d'une journée. Pensant être acclamé par le public, ce dernier, affligé par de telles expériences, considéra White comme le nouveau Frankenstein… Pouvait-on encore aller plus loin ? En 1933, le biologiste américain Robert Cornish (1903-1963) pensa ressusciter les morts en attachant tête en bas le cadavre de

11. Un des chiens greffés à deux têtes par le chirurgien russe Vladimir Demikhov

victimes de noyade, d'électrocution ou d'attaques cardiaques, sur une planche à bascule en mouvement continu afin de créer une circulation sanguine artificielle vers la tête. En vain ! Il récidiva en 1934 sur quatre fox-terriers cette fois-ci qu'il asphyxia avant de tenter de les ranimer à coup de séances de bascule et d'injection d'adrénaline : le plus surprenant a été le retour à la vie de deux des chiens, mais avec des dommages cérébraux si sévères qu'ils survécurent quelques mois en « zombies ». Cornish inspira à Hollywood un film d'épouvante (*The man with nine lives*, 1940) avec l'acteur spécialiste du genre, Boris Karloff (1887-1969). Ce serait oublier qu'en 1803, devant les membres ébahis du Collège Royal de Chirurgie à Londres, le physicien italien Giovanni Aldini (1762-1834), le neveu de Luigi Galvani qui avait fait bouger une grenouille fraîchement tuée par un courant électrique (voir *Biologie-Géologie* 1-2011, p. 122), avait déjà tenté lui aussi de ranimer le cadavre d'un assassin qui venait d'être exécuté : quand le visage de ce dernier fut traversé par un courant électrique, ses yeux et sa bouche s'ouvrirent dans un rictus macabre ; et c'est son corps entier qui bougea dans une sorte de danse insoutenable quand Aldini brancha un câble à l'oreille et un autre dans le rectum, faisant accroire à l'auditoire que le malheureux était revenu à la vie !

A côté de ces divagations fantasmatiques, la possibilité de transplantation de tissu nerveux ou de neurones dans un cerveau va faire l'objet de nombreuses études expérimentales, la première tentative datant de 1890 (voir l'article historique de Woerly et Marchand, 1990). Les progrès sont allés de pair avec ceux de la neurochirurgie, dont le développement en France est indissociable de la Pitié-Salpêtrière, laquelle provient de la réunion de l'hôpital de la Pitié, créé en 1612 pour servir de refuge aux mendiants, et de la Salpêtrière, née en 1634 du transfert de l'Arsenal du quartier de la Bastille au confluent de la Bièvre. C'est dans cet ensemble hospitalier qui a vu la naissance de la psychiatrie avec Pinel et de la neuropathologie avec Charcot (voir *Biologie-Géologie* 4-2010, p. 182 et 1-2011, p. 124), que fut donc initiée la neurochirurgie, notamment dans le domaine des tumeurs de la moelle épinière, par Joseph-François-Félix Babinski (1857-1932), un neurologue d'origine polonaise, qui fut d'ailleurs l'élève préféré de Charcot et a établi des correspondances entre la réponse à certaines épreuves cliniques et l'existence de lésions médullaires et cérébrales, permettant de situer rapidement l'origine d'une atteinte neurologique et de poser ainsi le diagnostic différentiel entre une affection organique et certaines manifestations névrotiques. Il laissa d'ailleurs son nom à trois syndromes neurologiques provoqués par des lésions du cervelet (*asynergie* ou absence de coordination dans les mouvements ; *hypermétrie* ou mouvement dépassant sa cible comme l'incapacité de pointer son nez du doigt ; *adiadococinésie* ou impossibilité d'enchaîner des mouvements rapides alternés comme ceux de supination et de pronation du poignet) ainsi qu'à un réflexe cutané plantaire (la stimulation de la sole plantaire induit une flexion complète de la jambe et du pied), dont l'inversion traduit une atteinte du système pyramidal du cerveau contrôlant la motricité fine : le *signe de Babinski* demeure ainsi inégalé en médecine. Si Antoine Chipault (1866-1920), chef de consultation chirurgicale à la Pitié, l'avait pourtant devancé, ses travaux n'eurent pas de réelle diffusion. Babinski en revanche n'hésitait pas à faire opérer ses malades par deux de ses disciples, Thierry de Martel (1876-1940), qui se suicidera le 14 juin 1940 pour ne pas assister à l'entrée des troupes allemandes dans Paris, et

Clovis Vincent (1879-1947), qui innova avec l'anesthésie locale dans la neurochirurgie et la mise au point d'une instrumentation encore largement utilisée, notamment dans l'exérèse des tumeurs hypophysaires et de différents méningiomes (la première chaire française de neurochirurgie sera créée pour lui en 1939). Sensibilisé par les nombreux mutilés de guerre, René Leriche (1879-1955), premier président de l'Ordre national des médecins créé en 1940, spécialiste de la chirurgie du sympathique, fut l'un des premiers à s'intéresser à la douleur (il a donné son nom au syndrome de l'algoneurodystrophie) et mit en pratique une chirurgie douce, économe en sang et aussi atraumatique que possible. La neurochirurgie connut ainsi un essor considérable, notamment pour soulager des pathologies résistantes à tout traitement pharmacologique, comme certaines épilepsies et, ces dernières années, ses progrès furent spectaculaires grâce à des techniques et des méthodes de plus en plus précises et sophistiquées : microchirurgie, aspiration ultrasonique, intervention au laser à crâne fermé, chirurgie assistée par ordinateur, stimulation intracérébrale, et bien sûr transplants de neurones fœtaux ou de cellules souches.

En expérimentation animale, l'utilisation de transplants cérébraux a connu un spectaculaire engouement depuis les travaux de l'école suédoise d'Anders Björklund (1983). Des comportements complexes initialement perturbés ont ainsi pu être restaurés chez l'adulte par le transplant de neurones fœtaux (Drucker-Colin et al., 1984 ; Gandolfo et *al.*, 1987). Des greffes de cellules humaines furent même tentées chez le singe (Redmond Jr et *al.*, 1988) afin de tester l'efficacité d'une transplantation interspécifique. De tels succès ont inévitablement incité à passer à des essais cliniques autorisant quelques espoirs thérapeutiques dans des pathologies comme la maladie de Parkinson (McRae-Degueurce et *al.*, 1988), la chorée de Huntington (Bachoud-Levi et *al.*, 2006) ou les accidents vasculaires cérébraux (Bliss et al., 2010). On a même envisagé leur faisabilité dans une thérapie génique (Gage et al., 1987).

La mise en évidence d'une neurogenèse et de l'existence de cellules souches (cellules non différenciées ayant des propriétés d'auto-renouvellement et de multipotence) dans le système nerveux adulte chez l'animal dans les années 1980, puis chez l'Homme en 1998 (voir Nicole Le Douarin, 2007), a également révolutionné les neurosciences et les thérapies cellulaires (voir *fig.12* et le dossier coordonné par David Blum et Carine Cleren, 2010). Depuis 2006, on transplante même des cellules souches pluripotentes induites (CPSi) obtenues par reprogrammation de cellules déjà différenciées, permettant entre autres de modéliser des pathologies : en les prélevant sur des patients malades, on peut par exemple étudier les mécanismes cellulaires et moléculaires de telle ou telle maladie neurodégénérative et tester des médicaments.

Les disciplines émergentes des neurosciences

Elles sont peu ou prou issues de cette « révolution de la complexité » commencée il y a un demi-siècle environ dans des domaines aussi divers que la biologie, l'écologie et l'économie, et qui connaît depuis deux décennies une spectaculaire

	CELLULES SOUCHES EMBRYONNAIRES	CELLULES SOUCHES NEURONALES ADULTES
AVANTAGES	– Totipotentes : elles se multiplient et se différencient dans tous les types de tissus – Faciles à dépister dans le sac embryonnaire du blastocyste (soit 4 à 5 jours après la fécondation) et à extraire – Se multiplient facilement en culture	– Disponibles dans les tissus adultes – Prolifération contrôlée : peu de risque de tumeurs – Autogreffe : pas de rejet immunitaire et pas de problème éthique
INCONVENIENTS	– Différentiation très rapide – Prolifération incontrôlée : risque de tumeurs – Allogreffe : problème du rejet immunitaire et problème éthique	– Pluripotentes : elles ne se renouvellent que dans certains types de tissus – Présentes en quantités infimes ; leur nombre décroît avec l'âge – Plus difficiles à isoler, purifier et conserver dans un état non différencié – Elles ont pu subir des mutations accumulées et des changements d'ADN

12. La thérapie cellulaire : avantages et inconvénients respectifs des cellules souches embryonnaires et des cellules souches neuronales adultes

accélération (Nicolis et Prigogine, 1989). Si, après la vision analytique et séquentielle imposée par le cartésianisme (voir *Biologie-Géologie* 3-2010, p. 177), l'approche synthétique a longtemps était considérée comme trop englobante, de nos jours, nombre de disciplines évoluent par contre vers une vision systémique et intégrative, où analyse et synthèse se complètent au sein de ce que les Américains appellent les « *sciences intégratives* ». Il en est par exemple ainsi de la « *biologie systémique* » qui offre une vision globale de la vie et de la santé et se pratique déjà depuis une quinzaine d'années à l'Institut Pasteur, tout comme à Princeton ou à l'Institut de Technologie du Massachussetts. Le champ d'étude des neurosciences n'a alors cessé de s'élargir dans ce cadre-là et de nouvelles disciplines ont donc émergé (Gandolfo, 2010). Quelles sont-elles ? Quelles en sont les applications et leurs dérives potentielles ?

La psycho-neuro-immuno-endocrinologie

Conséquence typique de la révolution de la complexité, elle est le reflet de l'évolution du concept de stress donné en 1936 par le médecin biochimiste et endocrinologue austro-hongrois Hans Selye (ou Selye Janos : 1907-1982) et de sa théorie du syndrome général d'adaptation (voir *Biologie-Géologie* 3-2007, p.497 à 507) : d'une réponse non spécifique de l'organisme mise en œuvre pour s'adapter à un événement donné, on est ainsi progressivement passé à la notion de phénomène psychobiologique complexe par la mise en jeu d'une boucle complète de communication entre les systèmes nerveux autonome et neuroendocrinien et le système immunitaire,

susceptible de modeler de manière définitive, en tout cas chez le jeune encore immature et selon la durée d'exposition et l'intensité des facteurs de stress, ses caractéristiques psychobiologiques. Les conséquences pathologiques d'un stress chronique ou mal contrôlé montrent bien l'interdépendance qui existe entre ces divers systèmes biologiques (voir *Biologie-Géologie* 3-2004, p. 543 à 545). D'où le développement de nombreuses recherches portant sur les bases bio-psychosociales des affections médicales et leurs spécificités psychodynamiques, cognitives, comportementales, familiales et systémiques (psychosomatique, psycho-endocrinologie, psycho-immunologie, psychophysiologie, psycho-cardiologie, psycho-oncologie, etc…). Une telle vision unifiée de l'individu commence à produire des bouleversements socio-économiques : thérapies de plus en plus personnalisées s'opposant à la production en masse des industries pharmaceutiques, nouveaux médicaments « de confort », politiques de prévention, etc…

La neuro-éthologie

C'est l'étude des mécanismes nerveux élémentaires (cellulaires, sensoriels, neuroendocriniens) qui expliquent le comportement, ce qui nécessite une triple approche : physiologique, dans la mesure où le comportement est une production endogène de l'individu, objectiviste (voir *Biologie-Géologie* 1-2011, p. 145-146) pour décortiquer le lien stimulus-réponse, et systémiste puisqu'il existe une neurogenèse des comportements associée à la maturation de l'individu. Cette dernière approche est évolutionniste car elle s'inscrit dans l'histoire évolutive du cerveau. La neuro-éthologie, dans une optique systémique, s'est associée à l'éthologie cognitive, qui étudie les états mentaux des individus, autrement dit leurs capacités à résoudre des problèmes, leurs motivations et leurs émotions, ainsi qu'à l'écologie comportementale, une discipline constituée dans les années 1970 (voir Danchin et *al.*, 2005), inspirée de la sociobiologie (Edward Wilson, 1975) et qui se fonde sur une approche adaptationniste en interprétant le comportement d'après sa signification adaptative, c'est-à-dire en l'associant étroitement au contexte écologique dans lequel il est produit : une synthèse interdisciplinaire qui a ainsi été rendue inévitable par la révolution de la complexité.

Des neurosciences computationnelles à la neuro-robotique

S'il arrive de dissocier la bio-informatique (applications informatiques en biochimie, génétique et phylogénie) des neurosciences computationnelles, qui visent à développer des méthodes de calcul pour mieux comprendre les relations complexes entre la structure et la fonction du cerveau et du système nerveux à différents niveaux de description (de la molécule à la cognition et au comportement), elles s'enracinent toutes dans la cybernétique dans la mesure où elles nécessitent une intégration constructive pluridisciplinaire allant des sciences du vivant à la modélisation. On considère le mathématicien américain Norbert Wiener (1894-1964) comme le fondateur, en 1947, de la cybernétique (du grec *kubernêtikê* : pilote, gouverneur) en tant que science des analogies maîtrisées entre organismes et

machines (Céline Lafontaine, 2004) et de laquelle dérivera les sciences cognitives (Jean-Pierre Dupuy, 1994), la modélisation économique (voir la neuro-économie ci-après) et l'intelligence artificielle (Jean-Louis Laurière, 1986). Cette dernière, également nommée informatique cognitive, a été définie par John McCarthy et Marvin Lee Minsky (tous deux sont nés en 1927) comme la recherche de moyens susceptibles de doter les systèmes informatiques de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains. De ces disciplines seront issues à leur tour la neurocybernétique et la neuro-robotique.

La neurocybernétique étudie les mécanismes de communication dans les neurones, le traitement des neuromédiateurs dans les synapses ou encore le rôle des récepteurs et des virus neurotropes. Délaissant la représentation physionomique, elle a plutôt opté pour une représentation fonctionnelle, c'est-à-dire celle de circuits logiques supposés être sous-jacents au fonctionnement du cerveau : la représentation anatomique y est au mieux simplifiée, sinon carrément absente. Il en est ainsi des réseaux de neurones artificiels, dont on peut dater l'émergence avec les travaux en 1959 (voir l'article de Lettvin et *al.*) des neurologues américains Warren Sturgis McCulloch (1898-1969) et Walter Pitts (1923-1969). Ils ont constitué un modèle simplifié de neurone biologique, conçu comme un automate pouvant réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes : c'est le « *neurone formel* ». En combinant ce modèle avec la règle de modification de la valeur des forces synaptiques en fonction de l'activité neuronique (voir *Biologie-Géologie* 2-2005, p. 296 et 1-2011, p. 145) établie en 1949 par le neuropsychologue canadien Donald Olding Hebb (1904-1985), va ainsi naître en 1957 le « *perceptron* », le premier système artificiel capable d'apprendre par expérience. La critique faite en 1969 par Minsky en personne dans un livre cosigné avec le mathématicien Seymour Papert (né en 1928) dénonçant les limitations théoriques du perceptron (impossibilité de traiter des problèmes non linéaires ou de connexité), sembla, un temps, mettre un coup d'arrêt à ce genre de recherche. En 1982, le physicien américain John Joseph Hopfield (né en 1933) la relança en introduisant un nouveau modèle de réseau de neurones, complètement récurrent cette fois-ci, ce qui permettra au « *perceptron multicouche* », capable de traiter avec succès les phénomènes non-linéaires, de voir le jour en 1986. Les réseaux de neurones connaissent depuis un essor considérable dans des domaines aussi variés que la reconnaissance optique de caractères (vérification des chèques bancaires, tri du courrier postal…), la modélisation accélérée d'une fonction complexe connue (décodage des signaux satellitaires de télédétection), les estimations boursières, les prévisions météorologiques, la modélisation de l'apprentissage et l'amélioration des techniques de l'enseignement.

En combinant la neurocybernétique avec la neurobionique (analyse des lois de la nature et leur transposition dans le domaine technologique), la neuro-robotique a pour objectif le contrôle par le cerveau d'une machine ou l'inverse. Ce vaste champ d'étude s'étend ainsi des robots autonomes comme les robots humanoïdes ASIMO (Advanced Step in Innovative MObility) de la firme japonaise Honda, plus d'une centaine fabriquée depuis 1986, qui sont capables de modifier leur trajectoire tout en marchant, ou les « robots-clones » du professeur Ishiguro (*fig. 13*), jusqu'aux interfaces cerveau-machine (ICM). Ces dernières sont des systèmes mettant en

13. Qui est le professeur, qui est le robot ?
Le Pr Hiroshi Ishiguro, directeur du laboratoire de Robotique intelligente à l'Université d'Osaka, a toujours accordé beaucoup d'importance à l'apparence vitale de ses robots humanoïdes : en 2005, l'androïde nommé Repliee Q1 Expo a pu interagir avec les gens (par exemple répondre à la personne qui le touchait) ; en 2007, Geminoïd, déjà créé à sa propre image, a été capable d'expressions faciales similaires à celles de la mimique humaine, reflet des émotions ; en 2010 enfin, Télénoïd R1, sorte de « clone » robotique d'Ishiguro, montre toute une panoplie de comportements proches de ceux de l'Homme.

interaction directe le cerveau d'un sujet avec un dispositif extérieur artificiel (ordinateur, robot, prothèse…), qui reçoit les signaux nerveux, enregistrés et décodés. Les premiers travaux en recherche animale datent des années 1970 et ont porté sur la neuroplasticité (voir *Biologie-Géologie* 2-2005, p. 303 ; Lebedev et Nicolelis, 2006). Ils susciteront la création de « neuroprothèses », c'est-à-dire de dispositifs artificiels remplaçant la fonction de systèmes sensoriels ou moteurs altérés. Les pionniers de ces organes artificiels ont été, d'une part, le biophysicien et neurophysiologiste américain William Harvey Dobelle (1941-2004) qui, avec son compatriote d'origine hollandaise Willem Johan Kolff (1911-2009) avec lequel il partagea d'ailleurs le Prix Nobel en 2003, mit au point en 1978 le premier prototype d'un implant de 68 électrodes dans le cortex visuel d'un aveugle, réussissant à produire ainsi des phosphènes (sensations lumineuses). D'autre part, Paul Bach-y-Rita (1934-2006), qui avait déjà en 1969 substitué une stimulation tactile à la vision défaillante d'un patient grâce à un appareillage muni d'une caméra transformant une image visuelle en une sensation sur la peau du dos du sujet sur laquelle 400 points de stimulations étaient appliqués (voir *Biologie-Géologie* 2-2005, p. 302), améliora son système en 2003 par le port d'une paire de lunettes équipée d'une mini-caméra et la sollicitation des récepteurs de la langue pour la substitution sensorielle. L'œil

artificiel par neurostimulation été donc né. Ce fut ensuite le tour des prothèses motrices. En 2005, à Zurich, Robert Riener et Tobias Nef ont créé un bras robotisé de réadaptation des hémiplégiques ou paraplégiques : les capteurs de ce robot ergothérapeute baptisé ARMin mesurent la force musculaire que le patient est capable d'engager et l'aide à recouvrer une partie de sa mobilité par des mouvements très ciblés, lesquels stimulent d'autres zones de la matière grise cérébrale en dehors de celles lésées et qui assument ainsi les fonctions perdues. L'année suivante, à Boston, un tétraplégique, auquel une puce électronique de 100 électrodes nommée Brain Gate a été implantée dans le cortex moteur, a pu se servir de son ordinateur sans l'aide du clavier ou de la souris, mais par sa seule pensée, les signaux cérébraux émis étant enregistrés directement par le capteur qui les transmet à un microprocesseur externe, lequel les convertit en instructions pour déplacer le curseur de l'ordinateur (Hochberg et al., 2006). Par des techniques similaires, on peut aussi contrôler par la pensée le bras d'un robot ou une chaise roulante. La miniaturisation et la télécommunication sans fil offrent des perspectives d'autonomie très prometteuses. La société Emotiv vient d'ailleurs de mettre au point un prototype de neurocasque à électrodes capable d'analyser les ondes émises par le cerveau de celui qui le porte, lequel, en se concentrant sur une action voulue, peut envoyer des ordres (sans fil) à un ordinateur : ce système se cantonne pour l'instant aux jeux vidéo et aux changements de chaînes de télévision.

À côté de ces applications cliniques des « prothèses outils » (implants rétiniens chez l'aveugle, implants cochléaires chez le sourd, prothèses myo-électriques chez l'amputé…), d'autres tendances en recherche expérimentale ont émergé. Une robotique évolutionniste appliquée aux neurosciences computationnelles (méthodologie EVOTS : EVolutionary robOTS) est ainsi devenue la pierre angulaire de la vie artificielle, une discipline récente qui se pose en alternative à l'intelligence artificielle classique et qui porte un nouveau regard sur les problèmes liés à l'adaptation et à l'apprentissage (Liénard et *al.*, 2010). Elle a abouti à la création d' « *animats* », c'est-à-dire des animaux simulés par des robots réels dont les lois de fonctionnement sont inspirées de celles des animaux dans le but de leur permettre de s'adapter à des environnements plus ou moins imprévisibles et menaçants. Outre la porte ainsi ouverte à la neuro-éthologie artificielle, qui étudie les modèles neuronaux artificiels sous-jacents au comportement d'agents autonomes et s'intéresse aussi à l'intelligence collective (ou robotique collective inspirée des interactions interindividuelles chez les animaux sociaux), ces nouvelles disciplines ont une vocation à la fois en recherche fondamentale (comprendre l'intelligence humaine à partir des comportements adaptatifs les plus simples hérités de l'animal ; évaluer la façon dont les enfants développent la capacité de voir, de se déplacer, d'interagir avec les personnes et les objets de leur environnement grâce au robot humanoïde iCub de l'Université Claude-Bernard de Lyon : voir Gandolfo, 2010) et en recherche appliquée : robots autonomes capables d'assurer leur mission sur des planètes lointaines ; modélisation du soldat du futur (contrôle à distance dans le cadre d'opérations à risque comme le déminage ; ajustement par la pensée de la puissance de feu des armes), etc. Mais la science ne flirte-t-elle pas ici avec la science-fiction et ses cyborgs ? Ce terme d'origine anglaise (contraction de *cybernetic organism*), popularisé à partir des années 1950 au travers de la littérature, du cinéma, des séries

télévisées, des mangas et des jeux vidéos, se référait d'abord au concept d'un « humain amélioré » pouvant survivre dans des environnements extraterrestres (on était au début de la conquête spatiale) avant de dériver dans le sens d'un robot à l'apparence humaine dont l'enveloppe extérieure est faite de tissus organiques de synthèse. Si on ne retient ici que la fusion de l'être organique et de la machine, alors un porteur de stimulateur cardiaque ou de hanche artificielle est… un cyborg ! Que dire alors de ceux qui ont reçu une prothèse neurale ? On voit bien le glissement d'une technologie de l'handicap vers la conception futurologique d'un homme sain aux puces implantées améliorant ses performances, lui permettant de ressentir des sensations inédites ou d'évoluer dans un monde purement virtuel en agissant directement dans la mémoire des ordinateurs. La cyborgologie est d'ailleurs une discipline créée à l'Université de Great Falls (Montana) qui a essaimé depuis dans l'enseignement universitaire !

La neurothéologie

Il s'agit de l'interaction entre le divin (*theos* en grec) et l'humain (*neuron*). La spiritualité fait partie, comme l'art et la culture, des activités humaines les plus importantes. L'émergence, au cours de l'évolution de l'Homme, de la pensée métaphysique (voir *Biologie-Géologie* 4-2006, p. 733 à 735) lui a permis de s'interroger non seulement sur la vie et la mort mais aussi sur lui-même, en tant qu'être doté d'un esprit invisible, non matérialisé, qui lui semble indépendant de son corps-matière. Transposer dès lors des caractéristiques immatérielles à d'autres êtres vivants ou à des forces naturelles relève d'un mécanisme mental courant, tel qu'on le retrouve au cours du développement ontogénique de l'enfant (voir *Biologie-Géologie* 4-2006, p. 748-749) : de l'animisme infantile prêtant aux choses des intentions, en passant par le mythe et la pensée magique, il finit par conduire aux croyances religieuses, lesquelles sont donc un processus normal de l'esprit humain. Etudier ces croyances (et peu importe qu'elles soient contradictoires ou obsolètes) revient ainsi à étudier la signification dans la mesure où l'on donne un sens au monde qui nous entoure : y a-t-il une chimie, une biologie de la signification ? L'expérience spirituelle a-t-elle des fondements biologiques, chimiques, cognitifs ? C'est pour répondre à ces questions qu'est née, au début des années 2000, la neurothéologie en tant que science étudiant les mécanismes cérébraux sous-tendant les phénomènes religieux comme la foi, la méditation, la prière, la glossolalie ou l'extase (voir *Biologie-Géologie* 3-2004, p. 540-541). En réalité, bien avant l'apparition du mot, l'idée d'étudier les états altérés de conscience (John Allan Hobson, 2001) remonte aux années 1960 avec les adeptes des drogues psychédéliques, lesquelles activeraient directement dans le cerveau le sens du sacré : pensons aux vives controverses (le sujet était certes délicat) déclenchées par les expériences de l'écrivain britannique Aldous Leonard Huxley (1894-1963) avec la mescaline ou celles du psychologue américain Timothy Leary (1920-1996) avec le LSD et de son disciple, le psychiatre Walter Pahnke (1931-1971) avec la psilocybine ! La polémique continue d'ailleurs : au-delà de certains travaux légitimes (voir Patrick Jean-Baptiste, 2003) montrant par exemple que la suractivation de structures limbiques du cerveau (amygdale, hippocampe, région temporale sous-corticale) donne le sentiment de

flotter au-dessus de la réalité, crée des flash lumineux, des hallucinations, libère des neurotransmetteurs comme la sérotonine (Borg et *al.*, 2003) procurant sensations d'euphorie, de paix et d'harmonie, d'autres chercheurs, comme le cognitiviste et parapsychologue américano-canadien Michael Persinger (avec L.S. Saint-Pierre, 2006) qui, en utilisant la SMT (voir plus haut) pour étudier les expériences mystiques, a prétendu avoir découvert la « zone Dieu » dans le cerveau, ces chercheurs donc, ont soudainement entaché de suspicion la neurothéologie. Contredit par Mario Beauregard (2008) à Montréal montrant l'activation d'un très grand nombre de structures cérébrales chez des nones carmélites en extase (il n'y a donc pas de zone spéciale), les réactions ne se firent pas attendre : le biologiste Richard Dawkins (2008) propose d' « *en finir avec Dieu* » et Ray Kurzweil et Terry Grossman (2006) souhaitent sortir la pratique de la méditation de son contexte mythico-religieux pour la rendre « agnostique » (ce qui semble difficile !). On voit donc bien ici les dérives potentielles de la neurothéologie, qui risque de voir s'engouffrer mouvements sectaires et fondamentalistes à l'affût d'une justification scientifique. Elle a pourtant eu le grand mérite de réintégrer, dans le champ d'étude des neurosciences, l'esprit qui en avait été durablement écarté depuis que René Descartes avait dissocié l'esprit conscient de la matière inconsciente (voir *Biologie-Géologie* 3-2010, p. 179) plaçant ainsi les phénomènes mentaux à l'extérieur de la réalité physique ordinaire, donc hors du domaine des sciences biologiques.

La neuro-économie

Les sciences économiques ont également été concernées par la révolution de la complexité (Pierre Bourdieu, 2000). De nouvelles branches disciplinaires sont alors apparues. L'économie comportementale, qui s'inspire de la psychologie behavioriste (voir *Biologie-Géologie* 1-2011, p. 141 à 144), a ainsi pour champ d'étude le comportement humain dans les situations économiques. Ce courant de recherche s'appuie à la fois sur le recueil de données réelles et sur l'expérimentation en laboratoire, objet de l'économie expérimentale, laquelle, par des « jeux » expérimentaux, cherche à isoler les paramètres d'une décision individuelle ou collective (investissement, achat, prise de risque, consommation) et qui a été récompensée par l'attribution en 2002 du Prix Nobel d'économie à ses pionniers américains, l'économiste Vernon Lomax Smith (né en 1927) et Daniel Kahneman (né en 1934), également psychologue, d'origine israélienne. Autre branche récente, l'économie cognitive (Bernard Walliser, 2000 ; Paul Bourgine et Jean-Pierre Nadal, 2001) vise à transformer les modèles économiques classiques en dotant les agents d'une rationalité proche de celle habituellement observée chez l'Homme (croyance, jugement subjectif, négociations, choix social…). Le terme de neuro-économie, enfin, a fait son apparition sous la plume de Paul Glimcher en 2003, en tant que discipline au croisement des neurosciences et de l'économie expérimentale. Comme la neurothéologie, elle a connu son essor grâce aux progrès réalisés dans l'imagerie cérébrale et, comme celle-ci, elle proposait au début une recherche légitime des mécanismes cérébraux qui sous-tendent, ici, nos comportements socio-économiques. Ainsi que l'a montré Sacha Gironde (2008), elle a redonné toute leur place aux émotions dans le processus de décision (Sanfey et *al.*, 2003), remettant ainsi en

cause la théorie économique classique qui postulait un individu entièrement rationnel, porté sur la maximisation de son utilité personnelle : or, l'Homme est capable de sacrifier ses intérêts pour agir au nom du bien commun dès lors que ce sacrifice permet de rétablir une justice sociale (placements éthiques, achats de produits du commerce équitable…). Cette sorte de rationalité collective provient du fonctionnement en parallèle de deux systèmes cérébraux : les structures limbiques (ou système des émotions), qui privilégient un traitement rapide et instinctif des problèmes, et le cortex frontal (ou système de la rationalité), lequel contrôle la motivation (Pessiglione et *al.*, 2007) et évalue des processus comportementaux. Si un conflit entre les deux systèmes se produit, surgit alors le regret, sorte de marqueur somatique d'un apprentissage émotionnel nous faisant comprendre que nous avons fait un mauvais choix et qui nous orientera ultérieurement vers un choix différent. Le regret (qui peut même être anticipé si on se projette dans le futur) emprunte les mêmes circuits cérébraux que l'empathie (capacité de partager les états émotionnels d'autrui), ce qui explique décision et comportement altruistes par une sorte de réflexe atavique lié à la recherche d'un équilibre de la collectivité. A croire qu'on cherche à rendre meilleurs les hommes dans une société où économie de marché et profit immédiat priment !

Mais la neuro-économie connaît aussi ses dérives quand elle s'inscrit volontiers dans une optique « libériste », telle qu'elle a été définie dans *Liberismo e liberalismo* (1928) par le politologue italien Benedetto Croce (1866-1952), et qui cherche à métamorphoser l'*Homo sapiens* en *Homo oeconomicus*, pour reprendre l'expression attribuée au sociologue et économiste italien Vilfredo Pareto (1848-1923). Sous le terme de neurofinance (*neuromarketing* en anglais), elle vise alors à influencer nos prises de décision en matière de placements à risque et d'emprunts. Quand on sait par exemple que l'ocytocine, une neurohormone aux multiples fonctions qui joue, entre autres, dans la sociabilité des individus (voir *Biologie-Géologie* 3-2007, p. 499), apaise les conflits et accroît la confiance en l'administrant par simple vaporisation nasale (Ditzen et *al.*, 2009), on mesure ainsi tout le danger potentiel de certaines recherches. Et la manipulation devient flagrante quand on considère comment le livre de Jason Zweig (paru en anglais en 2008 sous le titre déjà tendancieux de *Your money and your brain*) a été traduit en français l'année suivante : *Gagner en bourse grâce à la neuro-économie* !

La neurobiologie végétale

L'expression est à faire hurler certains collègues (Alpi et *al.*, 2007), puisque les plantes n'ont pas de neurones et encore moins de cerveau : c'est l'évidence même ! De quoi s'agit-il alors ? De similitudes pour le moins curieuses entre des processus neurobiologiques connus chez les animaux et le comportement adaptatif des plantes et des observations en électrophysiologie végétale, lesquelles incitèrent des chercheurs comme Frantisek Baluska (Université Comenius de Bratislava) à co-organiser en 2005 à Bonn le premier Symposium sur la neurobiologie des plantes et à éditer une revue spécialisée (*Plant signaling and behavior*, une publication Landes Bioscience). Auteur de plusieurs ouvrages (2006, 2009), il part du fait que les plantes ne sont pas des entités passives seulement soumises à des forces environnementales,

mais qu'elles se livrent une concurrence active pour des ressources limitées, tant au-dessus qu'au dessous du sol, qu'elles arrivent à contrôler divers facteurs de stress environnementaux, qu'elles sont capables de distinguer les expériences « positives » et « négatives » afin de les réutiliser pour adapter leur comportement, donc pour survivre. Comment l'information environnementale est-elle recueillie, traitée, intégrée et partagée pour avoir des réponses adaptées (dans une toute autre échelle de temps que les animaux, bien sûr) ? L'électrophysiologie et la biochimie (Brenner et *al.*, 2006) ont justement montré que les cellules végétales sont électriquement excitables et peuvent afficher des réponses électriques rapides à des stimulus de l'environnement ; que ces « potentiels d'action » provoquent la synthèse de protéines « neuroactives » que l'on retrouve chez les animaux (acétylcholine-estérase, récepteurs au glutamate et au GABA, substances endocannabinoïdes, actine…) ; que ce système de signalisation permet des réponses adaptées comme la pousse de la racine selon le vecteur de gravité (petit pois) ou sur une pente (maïs), la fabrication d'anticorps contre champignons, bactéries et virus (par interaction avec le système racinaire d'une rhizobactérie non pathogène), qu'il influe sur la respiration, la photosynthèse et la floraison. Agressé, l'acacia, par exemple, émet de l'éthylène, un gaz d'alarme qui affecte les mitochondries, lesquelles jouent sur la production de tanins toxiques : c'est ainsi que les koudous, antilopes sud-africaines, furent décimés à la fin des années 1980, car l'acacia a mémorisé les conditions environnementales, a anticipé une surconsommation et communiqué avec les arbres voisins. Encore mieux : les feuilles du lédon des marais ou thé du Labrador, un rhododendron de tourbière (*Rhododendron tomentosum*) produisent des terpènes volatiles résistant à la dégradation dans l'air qui sont adsorbés par des bouleaux verruqueux (*Betula pendula*) du voisinage, exerçant alors un effet répulsif sur les principaux insectes qui se nourrissent des feuilles de bouleau (Himanen et *al.*, 2010). Un bel exemple de coopération interspécifique ! Mais il y a plus étrange quand on considère l'aptitude aux mouvements de certaines plantes : si le cas de la sensitive (*Mimosa pudica*), qui referme ses feuilles au moindre contact, est bien connu, la sensibilité aux ondes sonores des feuilles de *Desmodium gyrans* qui se mettent à bouger en présence de musique (sauf des sons électroniques !) a de quoi laisser perplexe (quel est l'intérêt biologique ?). Charles Darwin (1809-1882) avait déjà constaté la faculté de mouvement chez les plantes (voir Trewaras, 2007) et supposé que « *la pointe de la racine agit comme le cerveau de l'un des animaux inférieurs* ». Baluska (2006) admet donc que c'est la zone racinaire qui formerait le site de la perception et de la transduction du signal environnemental.

Le terme de neurobiologie végétale n'apparaît peut-être pas ainsi comme étant le plus approprié. Puisqu'il s'agit essentiellement du « comportement » des végétaux, il eût sans doute été préférable de parler plutôt d'éthologie végétale, quitte à déplacer les cris d'orfraie du côté d'autres collègues !

La neurophilosophie

On quitte ici le domaine purement expérimental ou clinique pour aborder celui de la réflexion pure, de l'intérêt épistémologique et de la considération spéculative.

On doit ce terme à la philosophe américaine Patricia Smith Churchland, dont le livre *Neurophilosophy, toward a unified science of the mind-brain* (1986) avait pour objectif de comprendre comment les faits psychiques sont liés au substrat matériel. A l'évidence, il s'agit là d'une conception matérialiste, de celle qui, depuis Denis Diderot (1713-1784) et ses *Éléments de physiologie* (publiés qu'en 1875), représente les processus psychiques comme des états quantitativement déterminés de particules matérielles repérables, faisant donc de la psychologie une science naturelle, une biologie de l'esprit, mais qui a tendance à réduire ce dernier au cerveau. Le vieux rêve de la science unifiée vise ici à analyser comment la matière peut produire l'Homme. En 1997, la neurophilosophie devient ainsi le domaine quasi exclusif des partisans de l'union du cerveau et de la pensée, mais sert le plus souvent de prétexte à une interprétation des résultats des neurosciences. Bernard Andrieu (2007) va alors inscrire ce néologisme plutôt comme une cause du développement de ces dernières dans le champ de la philosophie. Un exemple d'approche neurophilosophique a été donné dans la synthèse sur le rêve, publiée dans *Biologie-Géologie* 3-2009, p. 147 à 151. Cette nouvelle discipline, au début purement philosophique, va toutefois s'associer à une approche plus empirique et expérimentale, pour donner naissance à la neurodynamique, une description mathématique et physique de la dynamique cérébrale qui a radicalement modifié la perception qu'on avait des processus physiologiques (McKenna et *al.*, 1994), ainsi qu'à la neurophénoménologie, vulgarisée par le biologiste et philosophe chilien Francisco Javier Varela Garcia (1946-2001), laquelle s'intéresse aux structures émergentes et à l'auto-organisation du cerveau à de multiples niveaux d'intégration, allant de l'activité locale des neurones jusqu'aux perceptions et actions cognitives conscientes.

Conclusion

Dire que le XXIe siècle sera celui du cerveau est devenu un truisme. Progrès des greffes d'organes (jusqu'à la greffe totale de visage chez un patient atteint de neurofibromatose le 27 juin 2010 par le Pr Laurent Lantièri au CHU Henri-Mondor de Créteil), suppléance des déficits cérébraux grâce aux nanotechnologies ou aux cellules-souches, devenues nos propres cellules « médicaments », élucidation des mécanismes cellulaires de l'apoptose (Jean-Claude Ameisen, 2009), maîtrise du programme génétique, voire création d'un génome de synthèse (Gibson et *al.*, 2010)… va-t-on assouvir nos vieux fantasmes de l'Homme autoconstruit (Olivier Rey, 2006) et repousser les limites du vieillissement et de la mort biologique ? Si « *nous sommes faits de l'étoffe de nos rêves* », comme l'écrivait Shakespeare, il ne faudrait tout de même pas que le « progrès » scientifique ne les transforme soudain en cauchemars…

La science a fait de nous des dieux, avant
que nous ne méritions d'être des hommes.
Jean Rostand (1894-1977)

Bibliographie

AIRAN R.D. et *al*. - *Temporally precise in vivo control of intracellular signaling* - Nature, 458 : 1025-1029, 2009

ALPI A. et *al.* - *Plant neurobiology : no brain, no gain ?* - Trends in Plant Science, 12: 135-136, 2007

AMEISEN J.C. - *La sculpture du vivant : le suicide cellulaire ou la mort créatrice* - Seuil, collection Point Sciences, 2009 (6e édition)

ANDERS G. - *Hiroshima est partout* - Seuil, collection La couleur des idées, 2008 (Traduction du journal rédigé en 1958)

ANDRIEU B. - *La neurophilosophie* - P.U.F. collection Que sais-je ?, 2007

ARENDT H. - *La crise de la culture* - Gallimard, collection Folio, 1972 (Traduction de Between Past and Future, 1961)

ATLAN H. - *A tort et à raison. Intercritique de la science et du mythe* - Seuil, collection Point Sciences, 1994

BACHOUD-LEVI A.C. et al. - *Greffe de neurones fœtaux : l'espoir d'une rémission durable dans la maladie de Huntington* - Lancet Neurology, 5 : 303-309, 2006

BACH-Y-RITA P. & Kercel S.W. - *Sensory substitution and the human-machine interface* - Cognitive sciences, 7: 541-546, 2003

BALUSKA F. et *al.* (Eds) - *Communication in plants* - Springer (Berlin), 2006

BALUSKA F. - *Plant-environment interactions : signaling and communication in plants* - Springer (Berlin), 2009

BAUMAN Z. - *Le coût humain de la mondialisation* - Hachette, collection Pluriel Poche, 2000

BEAUREGARD M. - *The spiritual brain* - Harper Collins (New York), 2008

BJÖRKLUND A. et *al.* - *Intracerebral grafting of neuronal cell suspensions* - Série de 8 articles parus dans Acta Physiologica Scandinavia, suppl.522 : 1-75, 1983

BLISS T.M. et *al.* - *Optimizing the success of cell transplantation therapy for stroke* - Neurobiological Diseases, 37: 275-283, 2010

BLUM D. & CLEREN C. - *Cellules souches et cerveau : où? Comment ? Pourquoi ?* - La Lettre des Neurosciences, 38 : 11-27, 2010

BORG J. et *al.* - *The serotonin system and spiritual experiences* - American Journal of Psychiatry, 160 : 1965-1969, 2003.

BOURDIEU P. - *Les structures sociales de l'économie* - Seuil, 2000

BOURGINE P. & NADAL J.P. - *Towards cognitive economics* - Springer (Berlin), 2001

BRENNER E. et *al.* - *Plant neurobiology : an integrated view of plant signaling* - Trends in Plant Science, 11 : 413-419, 2006

CABANIS E.A. - *Images du cerveau : techniques d'investigation* - Collection Dialogues, INSERM, Palais de la Découverte, Ed. Loch-Ness Création, 1988

CHOMSKY N. - *Nouveaux horizons dans l'étude du langage et de l'esprit* - Stock, 2005

CHURCHLAND P.S. - *Neurophilosophie* - P.U.F., 1999

COTTA A. - *Le règne des oligarchies* - Plon, 2011

COTTA J. - *Qui veut la peau des services publics ?* - Ed. Jean-Claude Gawsewitch, 2011

DANCHIN E. et *al.* (Eds) - *Ecologie comportementale* - Dunod, 2005

DAWKINS R. - *Pour en finir avec Dieu* - Robert Laffont, 2008

DE GAULLE C. - *Le Fil de l'épée* - Plon, 1971

DEISSEROTH K. - *Les neurones sous l'emprise de la lumière* - Pour la Science, 401 : 24-31, 2011

DITZEN B. et *al.* - *Intranasal oxytocin increases positive communication and reduces cortisol levels during couple conflit* - Biological Psychiatry, 65 : 728-731, 2009

DRUCKER-COLIN R. et *al.* - *Fetal suprachiasmatic nucleus transplants : diurnal rhythm recovery of lesioned rats* - Brain Research, 311 : 353-357, 1984

DUBET F. - *Le Déclin de l'institution* - Seuil, 2002

DUFOUR D.-R. - *La Cité perverse. Libéralisme et pornographie* - Denoël, 2009

DUPIN E. - *Voyages en France : la fatigue de la modernité* - Seuil, 2011

DUPUY J.P. - *Aux origines des sciences cognitives* - La Découverte, 1994

GAGE F.H. et *al.*- *Grafting genetically modified cells to the brain : possibilities for the future* - Neuroscience, 23: 795-807, 1987

GANDOLFO G. - *A quoi sert le cerveau ? Petite synthèse des grandes fonctions cérébrales* - Biologie-Géologie, 3 : 513-545, 2004

GANDOLFO G. - *Comment l'esprit vint-il à l'Homme ?* - Biologie-Géologie, 4 : 721-752, 2006

GANDOLFO G. - *Comment l'esprit influence-t-il le corps ?* - Biologie-Géologie, 3 : 493-517, 2007

GANDOLFO G. - *Point du vue critique sur 3 disciplines émergentes des neurosciences : la neuro-robotique, la neurothéologie et la neuro-économie* - La Lettre des Neurosciences, 38 : 8-10, 2010

GANDOLFO G. & GRAMMONT F. - *Les divers aspects de la neuroplasticité* - Biologie-Géologie, 2 : 291-312, 2005

GANDOLFO G. & MOURARD P. - *Le rêve sous tous ses aspects* - Biologie-Géologie, 3 : 103-153, 2009

GANDOLFO G. & DESCHAUX O. - *Histoire de la découverte du cerveau et de l'évolution des méthodes d'exploration* - Biologie-Géologie 2-2010 : 127-144 ; 3-2010 : 167-188 ; 4-2010 : 171-192 ; 1-2011 : 117-150

GANDOLFO G. et *al.* - *Transplanted raphe neurons reverse sleep deficits induced by neonatal administration of 5,7-dihydroxytryptamine* - Annals of New York Academy of Sciences, 495: 705-706, 1987

GARDNER H. - *Histoire de la revolution cognitive: la nouvelle science de l'esprit* - Payot, 1993 (traduction du livre original : A history of the cognitive revolution, 1985)

GAUCHET M. - *Le désenchantement du monde. Une histoire politique de la religion* - Gallimard, 1985

GENEREUX J. - *La Grande Régression* - Seuil, 2010

Gibson D.G. et *al.* - *Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthetized genome* - Science, 329: 52-56, 2010

GIRONDE S. - *La neuro-économie ou comment le cerveau gère mes intérêts* - Plon, 2008

GLIMCHER P. - *Decisions, uncertainty and the brain : the science of neuroeconomics* - MIT Press (Cambridge), 2003

HEBB D.O. - *The organization of behaviour : a neuropsychological theory* - Wiley (New York), 1949

HIMANEN S.J. et al. - *Birch (Betula sp.) leaves adsorb ande re-release volatiles specific to neighbouring plants : a mechanism for associational herbivore resistance ?*- New Phytologist, 186: 722-732, 2010

HOBSON J.A. - *The dream drugstore : chemically altered states of consciousness* - Bradford Books, MIT Press (Cambridge), 2001

HOCHBERG L.R. et al. - *Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia* - Nature, 442: 164-171, 2006

JEAN-BAPTISTE P. - *La biologie de Dieu : comment les sciences du cerveau expliquent la reli-*

gion et la foi - Noémis, 2003

KAHN A. - *Un type bien ne fait pas ça…* - Nil, 2010

KAHN J.-F. - *Où va-t-on ? Comment on y va…* - Fayard, 2008

KURZWEIL R. & GROSSMAN T. - *Serons-nous immortels ? Omega 3, nanotechnologies, clonage…* (Traduction Serge Weinman) - Dunod, collection Quai des sciences, 2006

LAFONTAINE C. - *L'empire cybernétique : des machines à penser à la pensée machine* - Seuil, 2004

LAURIERE J.L. - *Intelligence artificielle* - Eyrolles, 1986

LEBEDEV M.A. & NICOLELIS M.A.L. - *Brain machine interfaces : past, present and future* - Trends in Neurosciences, 29: 536-546, 2006

LE DOUARIN N. - *Les cellules souches, porteuses d'immortalité* - Odile Jacob, 2007

LETTVIN J.Y et *al.* - *What the frog's eye tells the frog's brain* - Proceedings of Institute of Radio Engineers, 47: 1940-1951, 1959

LIENARD J. et *al.* - *Multi-objective evolutionary algorithms to investigate neurocomputational issues: the case study of basal ganglia models* - In : Meyer (J.A.), Guillot (A.) & Hallam (J.) Eds: From animals to animats. LNAI, Springer (Berlin), 2010

MCKENNA T.M. et *al.* - *The brain as a dynamic physical system* - Neuroscience, 60: 587-605, 1994

MCRAE-DEGUEURCE A. et *al.* - *An antibody in the CSF of Parkinson's disease patients disappears following adrenal medulla transplantation* - Neuroscience Letters, 94: 192-197, 1988

MINSKY M.L. & PAPERT S. - *Perceptrons* - MIT Press (Cambridge), 1969

NICOLIS G. & PRIGOGINE I. - *Exploring complexity* - Freeman (New York), 1989

PEGUY C. - *L'Argent* - Les Equateurs, 2008 (réédition du pamphlet de 1913)

PERROUX F. - *Le capitalisme* - P.U.F., 1951

PESSIGLIONE M. et *al.* - *How the brain translates money into force : a neuroimaging study of subliminal motivation* - Science, 316: 904-906, 2007

PEUGNY C. - *Le Déclassement* - Grasset, collection Mondes vécus, 2009

POWERS R. - *Generosity : an enhancement* - First Edition, 2009

REDMOND Jr D.E. et al. - *Cryopreservation, culture and transplantation of human fetal mesencephalic tissue into monkeys* - Science, 242: 768-771, 1988

RENAUT A. - *La fin de l'autorité* - Flammarion, Collection Champs, 2004

REY O. - *Itinéraire de l'égarement. Du rôle de la science dans l'absurdité contemporaine* - Seuil, 2003

REY O. - *Une folle solitude. Le fantasme de l'homme autoconstruit* - Seuil, 2006

RIENER R. et *al.* - *Robot-aided neurorehabilitation for the upper extremities* - Medical and Biological Engineering and Computing, 43 : 2-10, 2005

ROSA H. - *Accélération. Une critique sociale du temps* - La Découverte, collection Théorie critique, 2010

SAINT-PIERRE L.S. & PERSINGER M.A. - *Experimental facilitation of the sensed presence is predicted by the specific patterns of the applied magnetic fields, not by suggestibility : reanalyses of 19 experiments* - International Journal of Neuroscience, 116: 1079-1096, 2006

SANFEY A.G. et al. - *The neural basis of economic decision-making in the Ultimatum Game* - Science, 300: 1755-1758, 2003

SERRES M. - *Hermès, 4 volumes : I. La communication (1969) ; II. L'interférence (1972) ; III. La traduction (1974) ; IV. La distribution (1977)* - Les Editions de Minuit

SERVAN-SCHREIBER J.-L. - *Trop vite ! Pourquoi nous sommes prisonniers du court terme* - Albin Michel, 2010

STIEGLER B. - *Economie de l'hypermatériel et psychopouvoir* - Mille et Une Nuits, 2008.

STIGLITZ J. - *Le triomphe de la cupidité* - Babel, 2008

TOETTCHER J.E. et *al.* - *The promise of optogenetics in cell biology : interrogating molecular circuits in space and time* - Nature Methods, 8: 35-38, 2011

TREWARAS A. - *Response to Alpi et al. Plant neurobiology : all metaphors have value* - Trends in Plant Science, 12: 231-233, 2007

VARELA F.J. - *Neurophenomenology: a methodological remedy for the hard problem* - Journal of Consciousness Studies, 3: 330-350, 1996

WALLISER B. - *L'économie cognitive* - Odile Jacob, 2000

WILSON E.O. - *Sociobiology : the new synthesis* - Belknap Press of Harvard University (Cambridge), 2000 (édition du 25e anniversaire)

WOERLY S. & MARCHAND R. - *Un siècle de neurotransplantation chez les mammifères* - Neurochirurgie, 36 : 71-95, 1990

ZWEIG J. - *Gagner en bourse grâce à la neuro-économie* - Gutenberg, 2008 (Traduction de Your money and your brain, Simon & Schuster, 2007)

■