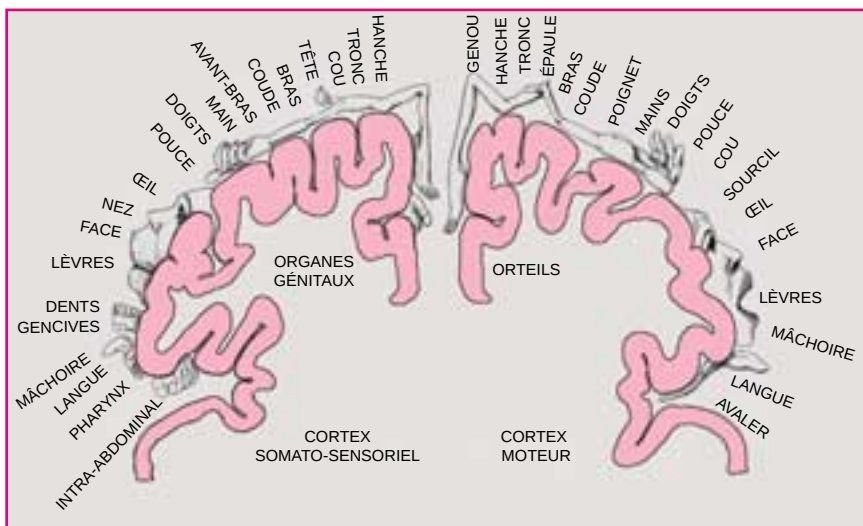




Homonculus cérébral où se projettent les parties du corps. Les neurophysiologistes ont observé que la taille des aires du cortex correspondant à un organe dépend de l'apprentissage de celui-ci : très exercé, un organe est représenté par une aire plus grande.

sistance résulte d'une interaction entre les axones et leurs cibles : l'activité électrique des neurones déclenche l'émission d'un signal en retour, qui renforce les jonctions les plus actives tandis que les autres disparaissent.

Mais tout ne reste pas en l'état : une analyse plus fine en microscopie électronique a établi que les dendrites des neurones sont porteuses de petites protubérances, appelées épines dendritiques. La taille de ces épines est modifiée par l'apprentissage, et certaines espèces peuvent, de plus, former des jonctions nouvelles lors de celui-ci.

LE POUVOIR DES GÈNES

Il est néanmoins indubitable que les gènes ont le pouvoir de changer la connectivité et donc de modifier certains comportements. Plusieurs preuves confirment le pouvoir déterminant des gènes.

L'un est l'impact des mutations géniques, par exemple sur le cervelet de la souris : les mutations de certains gènes provoque des lésions caractéristiques de certains neurones et synapses, et toutes s'accompagnent de troubles marqués et définitifs de la locomotion.

Examinons un autre exemple : la programmation génétique des rythmes biologiques présents chez tous les animaux et chez l'homme. Ainsi le produit du gène dénommé *period* (ou *per*) contrôle les rythmes physiologiques de la mouche (dont le cycle est de 24 heures) et la fréquence du battement des ailes du mâle, lorsque celui-ci fait sa cour. Ces battements se répètent toutes les 55 secondes et durent 10 secondes. Chez les mutants ayant un cycle circadien plus court ou plus

long, l'intervalle des battements est réduit ou accru, et les vibrations sont totalement arythmiques chez la mouche qui a perdu tout repère circadien.

Cependant, l'identification des gènes produisant des molécules «spécialisées» dans la rétention et la réactivation des traces mnémoniques est rendue difficile par le nombre élevé de gènes impliqués dans ces processus ; de plus, des mécanismes de compensation sont mis en place lorsque des mutations ponctuelles sont produites expérimentalement. Enfin ces gènes codent des substances ayant des rôles multiples dans l'organisme et il est très difficile de déterminer lesquelles agissent spécifiquement dans la mise en place de la mémoire à long terme.

D'autre part, des facteurs liés à l'activité et à l'expérience du sujet sont également déterminants pour la construction et pour l'activité du cerveau.

L'APPRENTISSAGE

Les circuits et les synapses qui composent le système nerveux sont constamment modifiés par l'apprentissage.

On trouve déjà chez un mollusque marin, l'Aplysie, toutes les formes d'apprentissage implicite décrites chez les mammifères par Pavlov. Ce mollusque a un système nerveux composé d'environ 20 000 neurones, et ceux-ci contrôlent des réflexes de défense tels que le retrait des branchies, provoqué par un choc tactile appliqué sur la queue. Ce réflexe diminue d'amplitude après des chocs répétés (habituation), ou au contraire devient plus marqué si les stimulations redeviennent intenses (sensitisation). Dès qu'il est établi, ce conditionnement peut persister plusieurs semaines.

Ces modifications du comportement sont déterminées par le nombre des neurones agissants et par les variations de l'efficacité des synapses entre les neurones sensoriels et les motoneurones qui contrôlent les muscles.

Le modèle expérimental de «mémoire» cellulaire le plus étudié aujourd'hui est la potentialisation à long terme. Pour l'étudier, on découpe des tranches d'une structure corticale, l'hippocampe de mammifères que nous avons mentionné plus haut. Sur ces tranches maintenues en survie, on étudie les modifications de l'efficacité des synapses sous l'effet des mêmes «conditions» que celles qui sont efficaces chez l'animal entier.

La potentialisation à long terme consiste en un accroissement prolongé de l'efficacité des synapses à la suite de stimulations électriques par des trains d'impulsions à hautes fréquences (100-200 hertz), appelées tétaniques. Les synapses émises par une voie soumise à un tel protocole deviennent plus efficaces pendant des heures, parfois des jours, voire pendant plusieurs semaines, et cette facilitation peut toucher des jonctions peu actives, voire silencieuses.

Les propriétés de la potentialisation à long terme sont celles que l'on attend d'un processus de mémorisation. Elle est coopérative : la mise en jeu de deux voies, l'une faible et l'autre forte, a pour conséquence de renforcer la première. Elle est associative : deux voies distinctes se renforcent l'une l'autre lors de telles manipulations expérimentales. Enfin, elle est spécifique des voies activées et ne touche pas les jonctions voisines de celles qui ont été effectivement tétanisées.

La potentialisation à long terme n'est pas l'apanage des synapses excitatrices. Cette forme de mémoire est également présente dans les jonctions inhibitrices, comme l'ont montré d'abord dans mon laboratoire les recherches effectuées sur un neurone de poisson, la cellule de Mauthner, qui commande le réflexe de fuite en direction opposée à un signal menaçant, auditif par exemple. Cette plasticité a été retrouvée sur d'autres synapses inhibitrices, tels le cervelet et le cortex des mammifères. Cet exemple illustre comment sont effectuées certaines recherches sur le cerveau : elles sont d'abord effectuées sur des préparations «simples» (ici le poisson), puis la généralité éventuelle des observations initiales est vérifiée sur des espèces plus complexes, tels des mammifères ou des primates.

La potentialisation à long terme a été identifiée dans presque toutes les structures centrales. Sa mise en jeu est due à l'entrée de calcium dans la cellule

cible, mais son maintien est généralement provoqué par une substance rétrograde, qui diffuse en retour, à partir du neurone qui «écoute» vers celui qui «parle», et qui provoque l'augmentation de la probabilité de libération des transmetteurs, voire le recrutement des synapses préalablement silencieuses. Ici se dessine d'ailleurs une analogie entre développement et apprentissage.

Les propriétés de la potentialisation à long terme démontrent la validité d'une loi énoncée en 1949 par le psychologue américain Hebb, selon laquelle le pivot de l'apprentissage est synaptique et que cet apprentissage nécessite l'activation conjointe des deux versants de la synapse.

PLASTICITÉ DU CORTEX CÉRÉBRAL

Nous pouvons maintenant évoquer l'aptitude du cortex cérébral, siège des fonctions appelées cognitives chez l'homme, à se modifier en fonction de différentes expériences.

Il existe, au cours du développement, des périodes critiques qui sont déterminantes pour l'apprentissage d'une fonction : celle-ci peut être abolie sans retour possible si elle n'est pas exercée durant cette période. Cette propriété du système nerveux est particulièrement marquée au cours des premiers âges de la vie. Ainsi un chaton dont l'un des yeux a été obturé pendant une semaine choisie durant la période critique qui va de la naissance à l'âge de six mois, perd la vision stéréoscopique. La presque totalité des cellules corticales n'est sensible qu'aux seuls influx transmis par l'œil resté ouvert.

Chez l'adulte, les organes des sens se projettent sur des régions précises du cerveau. Sur ces régions, des cartographies précises du corps ont été identifiées en déplaçant, lors de stimulations appropriées de la peau, une électrode sur la surface du cortex. Toute la surface du corps est représentée, mais elle est déformée et elle semble grotesque. L'importance de la surface périphérique représentée sur le cortex est un reflet de la vie sensorielle, qui varie en fonction de l'espèce : le museau et les moustaches dominent chez le chat, la queue et la face chez le singe, la main et les régions orales chez l'homme. Ces cartes diffèrent d'un individu à l'autre en fonction de son expérience. Ainsi chez le singe, la zone de représentation de la main a tendance à se réduire si les doigts ont été mis au repos, ou si les nerfs périphériques ont été sectionnés. Inversement, à la suite d'un apprentissage durant lequel l'animal a été encouragé

à utiliser les doigts médians, on constate que leur aire de représentation s'est étendue par rapport à celle d'animaux contrôles.

Ces faits montrent combien le système nerveux est plastique, à tous les niveaux et non seulement aux âges précoces de la vie. Cet inattendu est rassurant. Il souligne le caractère dépassé du vieux débat entre l'inné et l'acquis, comme le rappelle François Jacob dans *Le jeu des possibles*. L'adaptation, dit-

il, est le résultat d'un «dialogue permanent entre les gènes et le milieu environnant, entre les facteurs biologiques et culturels».

Les neurosciences pourraient-elles alors nourrir notre savoir sur le plan de l'éducation et de la sélection des talents ? Pas grand-chose de plus que ne dictent déjà les grands principes chers aux humanistes et que les avancées de la génétique ne remettent pas en cause. Et c'est très bien ainsi.

Cerveau et société

Un des arguments en faveur de la hiérarchie sociale provient, implicitement, de la sociobiologie comparée, qui s'appuie par exemple sur l'observation des insectes sociaux. Selon une définition qui témoigne d'une vision anthropomorphique, il existerait dans les sociétés d'insectes sociaux, telle celle des fourmis, des «castes», dont chacune est spécialisée à partir d'une tâche définie : ouvriers, soldats, esclaves capturés dans d'autres colonies, sans oublier la reine.

Or ce qu'il conviendrait mieux de nommer groupes spécialisés n'est pas seulement déterminé par des facteurs génétiques, mais par de nombreux autres éléments : nourriture larvaire, taille (aléatoire) de l'œuf, conditions d'hibernation et posthivernales de sa maturation, présence ou non d'une reine dans l'entourage des larves, ainsi que son âge. Plus important encore : les œufs ayant un long cycle de couveuse peuvent devenir soit reine, soit ouvrière, et la reine peut rester longtemps multipotente, puisqu'elle peut effectuer, durant une longue période, les mêmes tâches qu'un ouvrier.

Dès lors, si chez les êtres simples le comportement est fortement déterminé par les gènes, le programme génétique devient, du fait de sa diversité de plus en plus large, plus «ouvert» chez les organismes plus complexes. Il laisse à ceux-ci capacité de choix et liberté de réponse, apportant des potentialités qu'il pourra développer ou non, selon les hasards de la vie et de l'éducation qu'il aura reçue. C'est ce que disait déjà Lamarck en 1809 dans sa *Philosophie zoologique* : «On peut sans doute apporter en naissant les dispositions particulières pour des penchants que les parents transmettent par l'organisation, mais certes, si l'on n'eût pas exercé fortement et habituellement les facultés que ces dispositions favorisent, l'organe particulier qui en exécute les actes ne se serait pas développé.»

Une seconde question porte sur les «maladies mentales». Un scientisme excessif et des raisons idéologiques pourraient généraliser le sens d'observations importantes, mais encore très fragmentaires sur le rôle de l'hérédité lors de certaines affections psychiatriques. Certes la psychose maniaco-dépressive est d'origine génétique, mais une conclusion semblable concernant toutes les formes d'autisme ou d'affections graves sur le plan social serait prématurée. Il n'est pas possible d'exclure l'intervention de facteurs psychologiques dans leur déclenchement, ou leur maintien.

Une troisième question fort débattue touche à la place de l'homme et des groupes humains dans la société. Certains parlent de «Darwinisme social» sans savoir qu'il s'agit là d'un contresens. En effet, c'est Lamarck qui pensait que les formes simples de la vie progressent selon une hiérarchie allant du simple au complexe pour aboutir finalement à la race humaine. En ajoutant la lutte pour la survie chère à Spencer, qui était philosophe, et non pas biologiste, on obtient ce qui aurait dû être appelé plus justement un Lamarckisme social. Au contraire, Darwin concevait l'évolution comme un arbre à ramifications multiples, qu'il a illustré d'ailleurs en exergue de son *Évolution des espèces* (1859) et non pas comme une échelle. On voit sur cet arbre que les espèces évoluent de manière divergente, en fonction de variations fortuites, et que subsistent celles qui sont le mieux adaptées aux conditions de vie. Ceux qui prétendent trouver appui sur le Darwinisme et plus généralement sur quelque acquis scientifique isolé de son contexte pour justifier les inégalités sociales et parfois même le racisme, trichent sur les arguments qu'ils mettent en avant. C'est le contraire que nous enseigne chacune des avancées de la science.

Henri Korn est Directeur de recherches à l'INSERM et Professeur à l'Institut Pasteur.

Ce texte est une retranscription du débat enregistré, avec Émile Noël, au Palais de la Découverte. Ce débat sera diffusé sur France-Culture le 7 mai 1997.