

gique des cellules. L'électricité, comme le système nerveux lui-même, agit à la manière d'un déclencheur de ces mécanismes. Ce principe est fondamental pour la compréhension du contrôle électrique des fonctions biologiques. Les organismes se composent d'un grand nombre de séquences biologiques, dont les unes sont héritées, les autres acquises par l'expérience. Quand une réaction en chaîne est mise en branle, elle se poursuit selon un plan intrinsèque passible de modification par *feedback* ou par l'intervention de nouvelles stimulations. Dans certains cas, le déclencheur peut être non spécifique; par exemple, la contraction musculaire peut être provoquée indifféremment par une stimulation mécanique, thermique, osmotique, chimique, électrique ou neuronale. Dans les recherches sur le cerveau aussi bien que sur le muscle, l'activation électrique est préférable, parce qu'elle n'endommage pas les cellules et permet des études répétées des mêmes processus biologiques. En appliquant l'électricité, nous pouvons activer les mécanismes fonctionnels préétablis propres à une structure donnée et découvrir le rôle possible de celle-ci dans le comportement spontané. Au moyen de la SEC (Stimulation électrique du cerveau), il est possible de contrôler une diversité de fonctions — un mouvement, une sécrétion glandulaire ou une manifestation mentale spécifique, selon la cible choisie. La méthodologie nécessaire et des exemples de résultats sont discutés dans les chapitres suivants.

LES MÉTHODES DE COMMUNICATION DIRECTE AVEC LE CERVEAU

On peut atteindre très facilement la profondeur du système nerveux central à travers les fenêtres naturelles que constituent les récepteurs sensoriels. Des stimuli tels que des figures lumineuses voyagent très rapidement de la rétine de l'œil à travers les voies optiques jusqu'au cortex visuel situé dans le lobe occipital. Serait-il possible d'explorer l'activité locale des neurones corticaux au cours du processus de la perception symbolique? Pourrions-nous évoquer des sensations similaires par stimulation directe de neurones spécifiques? Pouvons-nous atteindre l'esprit d'un individu sans passer par les portes normales que sont les voies sensorielles? Pouvons-nous diriger artificiellement les fonctions du cerveau? De tels problèmes ont capté l'intérêt de nombreux chercheurs; mais le cerveau est bien protégé par des couches de membranes, le fluide rachidien, l'os et les téguments, par un bouclier formidable qui, pendant très longtemps,

a gardé les secrets des fonctions mentales à l'abri de la curiosité scientifique.

L'implantation d'électrodes chez l'animal

Dès le siècle dernier, de nombreux chercheurs ont exploré le cerveau, d'abord chez l'animal, puis, récemment, chez des patients humains dans le cadre du diagnostic et du traitement. Dans ces études, il était nécessaire d'ouvrir la peau et le crâne; la procédure étant douloureuse, il était obligatoire de recourir à l'anesthésie. Celle-ci bloquait la perception de la douleur, mais elle inhibait aussi certaines des fonctions les plus importantes du système nerveux. Les émotions, la conscience, le comportement volontaire étaient certainement absents dans l'état de sédation profonde, et pendant des années, les hommes de sciences portèrent leur attention sur des sujets endormis et négligèrent la complexité des cerveaux éveillés. Les traités de physiologie cérébrale s'occupaient de voies conductrices, de connexions, de réflexes, de postures, de mouvements; les fonctions mentales et le comportement étaient exclus : on les considérait comme relevant d'une autre discipline.

La percée méthodologique qui a permis l'étude du cerveau d'animaux éveillés et agissants remonte aux travaux de R.W. Hess (106) dans les années 1930. Le neurophysiologiste suisse mit au point une procédure pour implanter des fils très fins dans le cerveau de chats anesthésiés. Une fois dissipés les effets de l'anesthésie, l'animal relativement libre et normal pouvait être stimulé électriquement en connectant de longs fils aux terminaux des électrodes implantées. Cette procédure fit l'objet d'améliorations au début des années 1950 (47, 49); on réduisit la taille des électrodes tout en augmentant le nombre de contacts intracérébraux et en prenant des précautions d'asepsie plus minutieuses pen-

dant l'implantation. On augmenta aussi la précision chirurgicale avec laquelle on atteignait les sites cérébraux choisis pour cibles, grâce à des micromanipulateurs et à un système très exact de coordonnées anatomiques, qui permit d'atteindre des structures similaires chez des sujets différents. L'emploi de matériaux biologiquement inertes, tels que l'or, le platine ou le fil d'acier inoxydable isolé dans une gaine de téflon permet de laisser les électrodes dans le cerveau indéfiniment. La Figure 1 montre un schéma de l'implantation cérébrale d'un ensemble de sept contacts. La Figure 2 présente une vue aux rayons X de la tête du singe après l'implantation. A travers une petite ouverture faite dans le crâne, la tige est introduite dans le cerveau et descendue jusqu'à une profondeur prédéterminée. Elle est ensuite fixée à l'aide de ciment dentaire à l'endroit où elle traverse la calotte crânienne. Puis la partie supérieure de la tige est repliée au ras de la surface osseuse et est à nouveau fixée à quelque distance du point de pénétration. Enfin, le socket-terminal est ajusté à l'extérieur de la tête. Chaque contact du socket correspond à un point donné dans la profondeur du cerveau, qui devient ainsi accessible tout simplement en embrochant un connecteur, ce qui n'est pas plus compliqué que de brancher n'importe quel appareil ménager à une prise de courant. Cette technique a été employée par la SEC chez des milliers d'animaux dans quantité de laboratoires de par le monde. On dispose d'une longue expérience de son efficacité, de sa précision, de sa sécurité, expérience largement suffisante pour effacer définitivement le scepticisme des débuts, qui prédisait que l'introduction des fils dans le cerveau serait techniquement difficile, constituerait un danger pour le sujet, et perturberait grossièrement les fonctions normales. Il est vrai que les électrodes implantées détruisent les neurones sur leur passage, en brisant les vaisseaux capillaires et en produisant ultérieure-

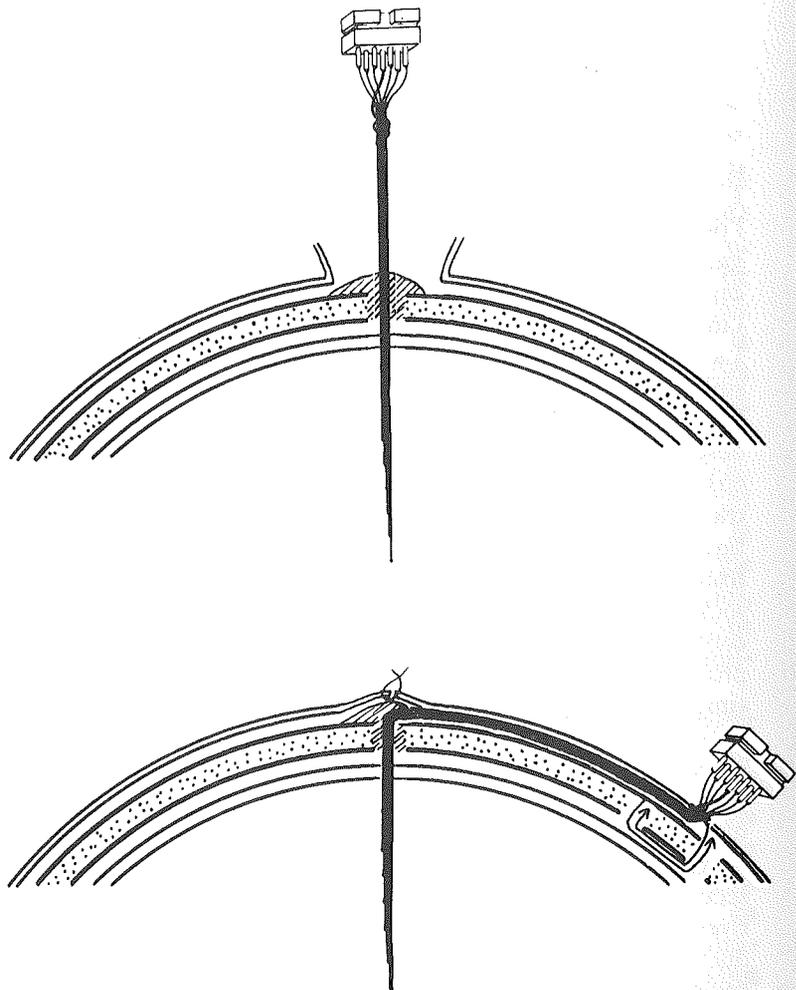


Fig. 1. Schéma d'un montage d'électrode implantée dans le cerveau et fixée dans le crâne. Le cerveau est ainsi accessible en profondeur par simple adjonction d'un connecteur (52).

ment une réaction locale marquée par la formation d'une fine capsule fibreuse le long de la voie d'implantation. On a prouvé, cependant, que l'hémorragie locale est négligeable. Grâce à la redondance fonctionnelle bien connue du tissu nerveux, grâce à l'abondance des dédoublements dans ses circuits, la destruction d'un nombre relativement restreint de neurones n'entraîne aucun déficit détectable. La fine capsule qui vient d'être mentionnée est conductrice d'électricité, et ne constitue pas, par conséquent, un obstacle à la stimulation ni à l'enregistrement. Au-delà de cette capsule

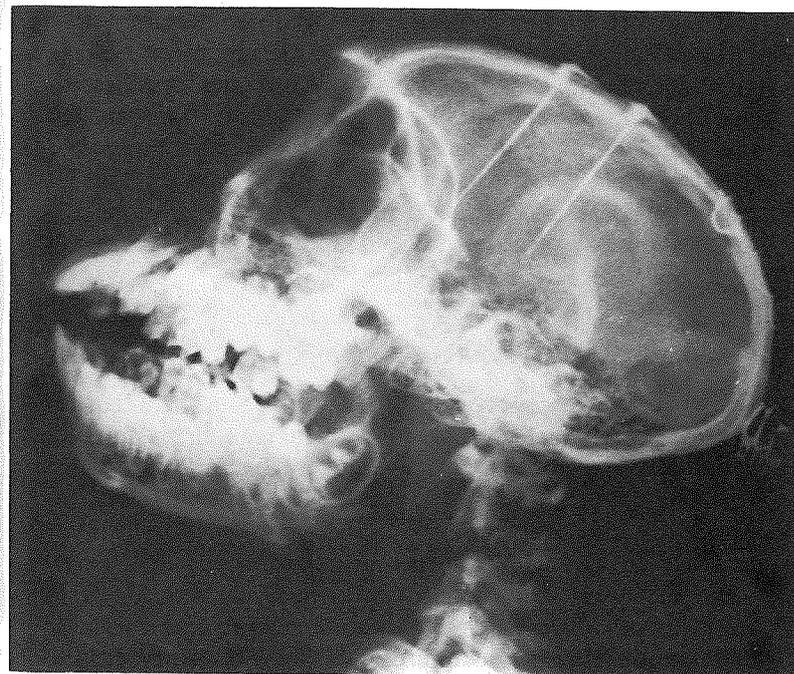


Fig. 2. Radiographie d'une tête de singe montrant deux montages d'électrodes implantées dans le lobe frontal et dans le thalamus (49).

de 0,1 à 0,2 millimètre d'épaisseur, le cerveau paraît histologiquement normal. A en juger par l'absence de toute activité électrique anormale, par la régularité des effets obtenus sous SÈC, et par la constance des seuils d'excitabilité à travers des mois d'expérimentation, les électrodes semblent bien tolérées. Certains de nos singes ont porté des électrodes dans la tête pendant plus de quatre ans. La fixation est très solide, et après quelques tentatives pour tirer et gratter le socket, les singes semblent en ignorer la présence.

Comme on peut le voir à la Figure 3, on a implanté jusqu'à cent contacts dans le cerveau de certains chimpanzés sans qu'on puisse observer aucune perturbation neurophysiologique ni comportementale; chez plusieurs singes, on a placé des contacts dans des zones aussi critiques et délicates que les centres respiratoires du bulbe rachidien sans aucun problème chirurgical. Les électrodes ont été employées sur des animaux de laboratoire tels que le rat, le chat, le singe, et aussi sur des espèces moins couramment étudiées, des grillons, des poulets, des dauphins et des taureaux de combat.

Les électrodes dans le cerveau humain.

Nos connaissances actuelles sur le système nerveux central se fondent essentiellement sur des recherches chez l'animal. L'expérience a montré que beaucoup de questions concernant l'implantation chez des sujets humains, telles que la tolérance biologique du tissu nerveux aux électrodes, pouvaient être résolues chez le chat ou quelque autre espèce inférieure. Certains des phénomènes électrochimiques de la conduction nerveuse peuvent s'analyser tout aussi adéquatement chez le calmar que chez le mammifère, et pour certaines études de la mémoire, l'octopus s'est révélé excellent sujet. Le rat a été — et est encore — l'animal préféré des psychologues

expérimentaux parce que, mammifère de petite taille et peu coûteux, il peut être employé par grandes quantités et permet d'obtenir des données comportementales convenables pour le traitement statistique. Le répertoire comportemental limité des animaux inférieurs ne peut, cependant, se comparer aux activités complexes des petits et grands singes. Ces espèces, plus proches parentes de l'homme, sont plus appropriées pour l'étude neurophysiologique du comporte-

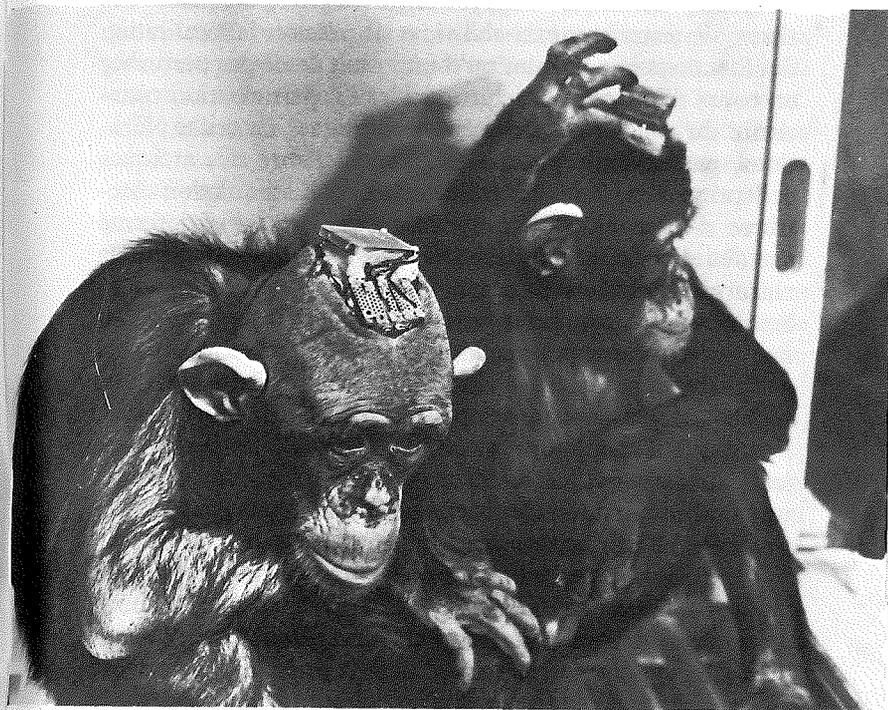


Fig. 3. Les chimpanzés Paddy (à gauche) et Carlos, équipés chacun de 100 électrodes et d'une boîte pour l'instrumentation. Malgré cette implantation massive, aucun déficit comportemental apparent n'a pu être observé; les animaux sont encore en vie et en excellente santé deux ans après l'opération.

ment intelligent. Enfin, si nous voulons investiguer les fonctions psychologiques les plus élevées du cerveau qui impliquent la communication verbale, il n'y a aucun substitut possible à l'homme lui-même.

Le cerveau de l'homme, comme n'importe quelle autre partie de son corps, peut subir des accidents traumatiques, souffrir de tumeurs ou de maladies. Il a souvent été nécessaire d'explorer les zones affectées, afin d'identifier les structures atteintes, d'apprécier le degré d'anomalie des tissus, de tester leur excitabilité, et de préciser la localisation des fonctions importantes qu'il importait de ne pas perturber en cours d'intervention chirurgicale. La participation consciente du malade fut requise dans certaines de ces explorations, par exemple pour déterminer si l'aura des attaques épileptiques pouvait être déclenchée par stimulation électrique d'un point cortical spécifique, et être ainsi informé sur l'origine possible des décharges épileptiques, que la chirurgie peut alors éliminer. Pour ce type d'investigation, le cerveau fut mis à nu sans anesthésie locale, présentant une occasion exceptionnelle pour étudier, chez des sujets parfaitement éveillés, les réactions comportementales et psychologiques provoquées par la SEC. C'est Penfield qui, avec ses collaborateurs, mena, à Montréal, les recherches les plus importantes dans ce domaine (174). A sa suite, un nombre considérable d'études similaires ont été réalisées par d'autres neurochirurgiens (2, 8, 97, 124, 163, 215).

L'exploration du cerveau mis à nu comporte cependant certaines limitations évidentes. Elle doit être brève pour éviter de prolonger l'intervention chirurgicale; les électrodes sont généralement tenues en place à la main, ce qui entraîne une variation dans la pression mécanique appliquée; le cerveau exposé est sujet à d'éventuels traumatismes thermiques, mécaniques et chimiques; les zones corticales ne sont identifiées que par inspection visuelle; le stress physique

et psychologique du patient qui subit l'opération introduit des facteurs difficiles à contrôler. La plupart de ces inconvénients peuvent être évités en utilisant des électrodes implantées. Étant donné l'expérience acquise par la recherche sur l'animal, il était naturel que certains chercheurs envisagent l'application de cette méthodologie à des patients à des fins de diagnostic et de thérapeutique (19, 59, 98). Les neurochirurgiens avaient déjà prouvé que le système nerveux central n'est pas aussi délicat que la plupart des gens ne le pensent; en cours d'interventions thérapeutiques, des parties du tissu cérébral ont été coupées, gelées, cautérisées ou enlevées avec des effets adverses, négligeables, sur le patient. L'introduction exploratoire d'aiguilles dans les ventricules cérébraux est une procédure clinique bien connue et relativement sûre; puisque les électrodes ont un diamètre plus petit que ces aiguilles, leur introduction dans le cerveau devrait être encore moins traumatisante. L'expérience a confirmé la sécurité et l'utilité de l'implantation de longue durée d'électrodes chez l'homme. La technique a été appliquée dans des centres médicaux spécialisés de par le monde afin de venir en aide à des milliers de patients souffrant d'épilepsie, de mouvements involontaires, de douleurs intractables, de névroses d'angoisse, et autres troubles cérébraux. En général, plusieurs ensembles de fines électrodes, totalisant vingt à quarante contacts, sont placés, à la surface et/ou dans la profondeur du cerveau. Les connecteurs terminaux sont fixés à l'extérieur à travers le scalp et protégés par un petit bandage enserrant la tête (voir Figure 4). Dans certains cas, les électrodes sont restées pendant près de deux ans avec une excellente tolérance.

Il peut paraître déplaisant ou dangereux de laisser des fils à l'intérieur d'un cerveau pensant; mais, en réalité, les nombreux patients qui ont subi ce traitement ne se sont pas inquiétés d'être ainsi pourvus de fils électriques; la présence

des conducteurs dans leur tête n'a entraîné pour eux aucun inconfort. Certaines dames ont déployé leur capacité féminine d'adaptation aux circonstances en portant des chapeaux et des perruques attrayants pour dissimuler leur installation

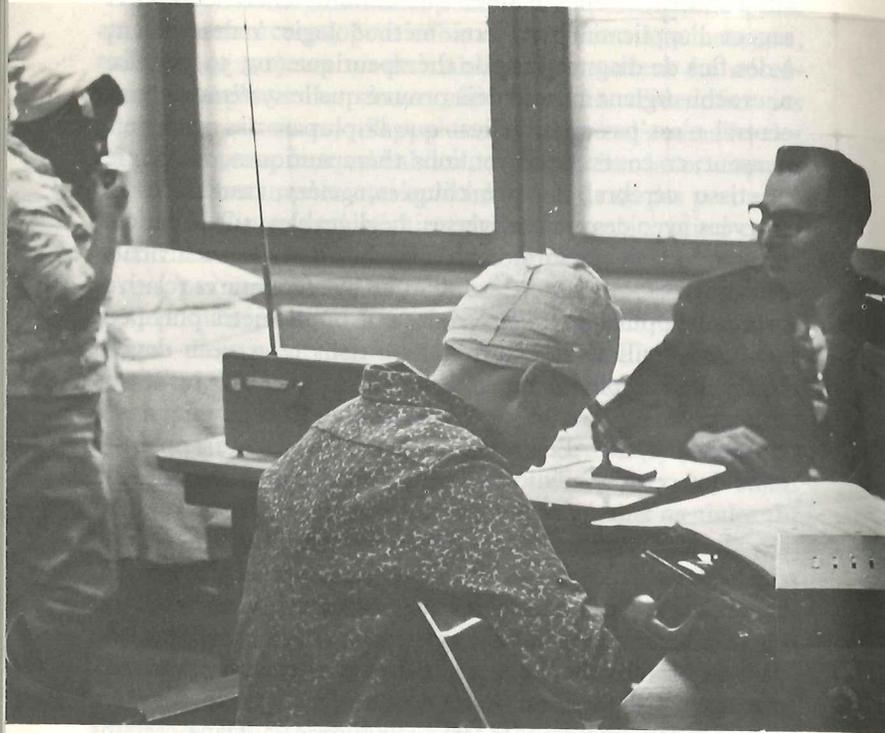


Fig. 4. Deux jeunes filles qui souffraient de crises épileptiques et de troubles du comportement exigeant l'implantation d'électrodes dans le cerveau dans des buts de diagnostic et de thérapeutique. Sous la calotte, chaque patiente porte un « stimocepteur », employé pour stimuler le cerveau par radio et pour envoyer des signaux électriques en provenance de l'activité cérébrale par télémetrie, pendant que les malades évoluent librement dans le pavillon de l'hôpital (60). Un exemple d'enregistrement électrique est fourni à la figure 17.

électrique. Beaucoup de gens ont pu jouir d'une existence normale comme malades ambulatoires, revenant périodiquement en clinique pour examen et stimulation. Dans de rares cas où les contacts étaient situés dans des zones dont la stimulation provoquait du plaisir, les patients ont eu l'occasion de stimuler leur propre cerveau en pressant le bouton d'un appareil portatif, et ce procédé aurait eu des effets thérapeutiques.

Les électrodes implantées chroniquement permettent des explorations diagnostiques prudentes, sans aucune limite de temps. Elles permettent de doser les excitations électriques répétées ou des coagulations bien contrôlées en fonction des réactions du patient. Elles permettent, de surcroît, d'acquérir d'importantes informations sur les corrélations psychophysiologiques, fournissant une connaissance directe des bases cérébrales du comportement humain. Dans nos propres études (60, 109, 150), nous avons choisi une situation d'interview comme étant la plus propre à produire de façon continue des données verbales et comportementales. Pendant qu'était enregistrée l'activité électrique de huit paires de points cérébraux, nous avons enregistré environ une heure de conversation entre thérapeute et malade. On a, en même temps, pris des notes sur le comportement observable. Pendant l'interview, les stimulations électriques du cerveau furent appliquées à raison de périodes de 5 secondes séparées d'intervalles de trois minutes ou plus. Chaque point significatif fut exploré plusieurs fois.

Communication radio à double sens avec le cerveau

La technologie électronique a atteint un haut degré de raffinement. La communication radio à double sens avec les automobiles, les avions, les véhicules spatiaux est aujourd'hui courante. Le retard considérable mis à développer une

instrumentation similaire pour la communication avec les profondeurs du cerveau reflète le déséquilibre, déjà mentionné, dans l'évolution de notre civilisation technologique, qui semble plus préoccupée d'accumuler la puissance que de comprendre et d'influencer les mécanismes de base de l'esprit humain.

Ce fossé est en train de se combler. Comme le montrent les figures 4 et 5, il est désormais possible d'équiper des animaux ou des êtres humains de menus instruments appelés « stimorécepteurs », qui permettent de transmettre et de

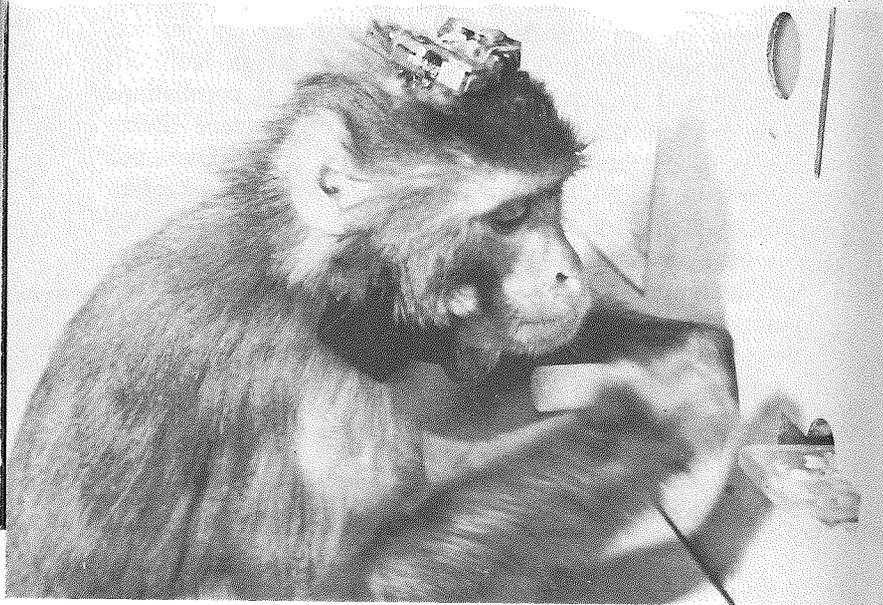


Fig. 5. Singe équipé de 28 électrodes implantées, d'une unité télémétrique à deux canaux au sommet du crâne et d'un stimulateur radio à trois canaux autour du cou. L'animal a appris à appuyer sur un levier pour obtenir de la nourriture. Grâce à cette technique, les fonctions cérébrales peuvent être explorées par contrôle à distance sans perturber le comportement étudié.

recevoir des messages électriques en provenance ou à destination du cerveau chez des sujets complètement libres de toute entrave. La microminiaturisation des composants électroniques de l'instrument permet de contrôler tous les paramètres de l'excitation pour la stimulation par radio de trois points différents à l'intérieur du cerveau, et d'enregistrer par télémétrie trois canaux de l'activité électrique intracérébrale. Chez les animaux, le stimorécepteur peut être fixé au crâne, et différents membres d'une colonie peuvent être étudiés sans troubler les relations spontanées à l'intérieur du groupe. Un comportement tel que l'agression peut être provoqué ou inhibé. Chez les malades, le stimorécepteur peut être attaché au bandage de tête, ce qui permet la stimulation électrique et l'enregistrement de l'activité intracérébrale sans déranger les activités spontanées.

Les stimorécepteurs offrent de vastes perspectives à la recherche, au diagnostic, et au traitement des troubles cérébraux chez l'homme. Une information préliminaire, concernant son emploi chez des patients souffrant de crises ayant leur origine dans le lobe temporal (voir Figure 4), a démontré les avantages suivants par rapport aux autres méthodes d'exploration intracérébrale (60) : (1) Le patient est équipé de l'instrument simplement en connectant le stimorécepteur sur les sockets fixés à la tête. (2) Il n'y a aucune perturbation du comportement individuel et social habituel du malade. (3) Le sujet est sous supervision médicale constante; stimulations et enregistrements peuvent avoir lieu jour et nuit. (4) On peut mener l'étude au cours des interactions sociales normales dans le milieu de l'hôpital, sans introduire de facteurs d'anxiété ou de stress. (5) Chez des patients très gravement atteints, le cerveau peut être exploré sans les confiner à une salle d'enregistrement. (6) Les fils reliant le malade aux appareils étant devenus superflus, il n'y a plus de risque de déloger les électrodes au cours

d'un comportement anormal. (7) La stimulation programmée du cerveau, à des fins thérapeutiques, peut être prolongée aussi longtemps qu'il le faut.

Il est raisonnable d'imaginer que, dans un avenir proche, le stimorécepteur fournira la liaison principale de l'homme à l'ordinateur, et de l'ordinateur à l'homme, avec un feedback réciproque entre les neurones et les instruments qui marquera une ère nouvelle pour le contrôle médical des fonctions neurophysiologiques. Par exemple, on peut concevoir que l'activité électrique anormale localisée qui annonce une crise épileptique imminente soit captée par les électrodes implantées, transmise à une salle d'appareils éloignée, enregistrée sur bande magnétique, et analysée par un ordinateur capable de reconnaître les configurations d'ondes électriques anormales. L'identification du trouble électrique spécifique pourrait déclencher l'émission de signaux radio qui activeraient le stimorécepteur du malade et stimuleraient une zone inhibitrice déterminée dans son cerveau, de manière à bloquer à son début l'épisode convulsif.

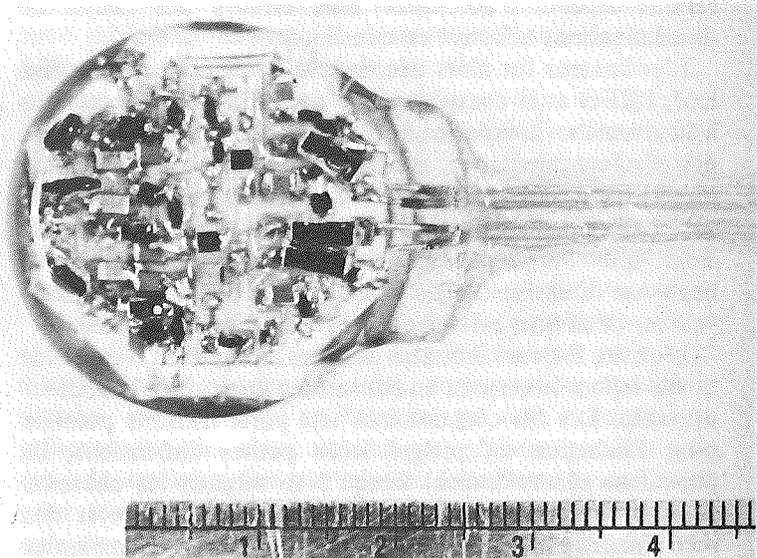
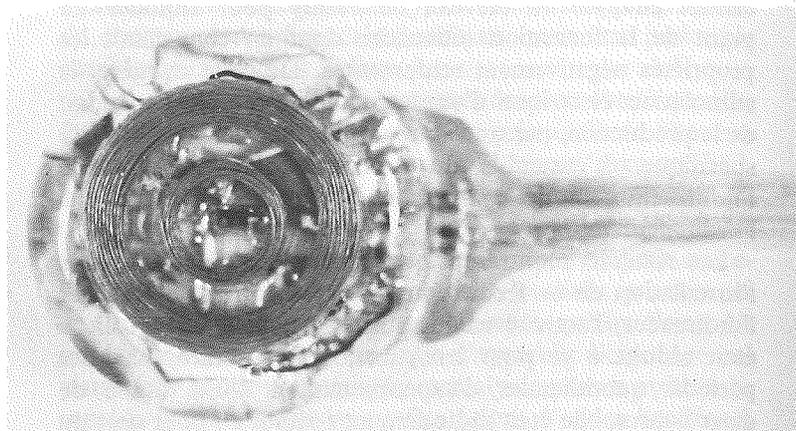
Cette spéculation trouve des fondements dans les expériences suivantes, réalisées en juin 1969, en collaboration avec les Drs Johnston, Wallace et Bradley. Le chimpanzé PADDY (Figure 3), libre dans sa cage, était équipé d'un stimorécepteur pour permettre le contrôle téléométrique, à partir d'une salle voisine, de l'activité cérébrale au niveau des noyaux amygdaliens gauche et droit. Les ondes cérébrales étaient captées, enregistrées et analysées automatiquement par un ordinateur analogique *on-line*. Cet instrument avait reçu instruction de reconnaître une configuration spécifique d'ondes, une décharge en fuseaux, qui était normalement présente dans les deux noyaux amygdaliens pendant une seconde, quelques fois par minute. L'ordinateur avait aussi pour instruction d'activer un stimulateur, et chaque fois qu'apparaissait une décharge en fuseaux, des signaux radio

étaient envoyés au cerveau de Paddy pour stimuler un point de la formation réticulaire dont on connaissait les propriétés négativement renforçantes. De cette manière, la stimulation électrique d'une structure cérébrale dépendait de la production, par une autre structure, d'un *pattern* EEG spécifique. L'ensemble du processus d'identification de l'information et de commande de l'action était confié à l'ordinateur *on-line*.

Les résultats montrèrent que, deux heures environ après l'installation de ce feedback réciproque entre le cerveau et l'ordinateur, l'activité en fuseaux des noyaux amygdaliens était réduite à 50 pour cent; six jours plus tard, avec des périodes quotidiennes d'expérimentation d'une durée de deux heures, elle était radicalement réduite à 1 pour cent du niveau normal; le chimpanzé était plus calme, moins attentif, moins motivé pendant le testing comportemental, tout en restant capable d'accomplir sans erreurs des tâches de discriminations olfactive et visuelle.

L'ordinateur fut alors déconnecté, et deux semaines plus tard, l'EEG et le comportement de Paddy étaient revenus à la normale. L'expérience fut répétée plusieurs fois avec des résultats similaires, confirmant qu'une communication directe peut être établie entre le cerveau et l'ordinateur, sans passer par les organes sensoriels habituels; confirmant aussi que l'apprentissage automatique est possible en envoyant directement des signaux dans des structures nerveuses spécifiques sans aucune participation consciente.

L'un des facteurs limitatifs dans ces études était la présence de fils reliant le cerveau au stimorécepteur situé à l'extérieur du scalp. Les fils constituaient une porte d'entrée possible pour l'infection et, malgré leurs petites dimensions, ils pouvaient gêner l'animal lorsqu'il se soignait les cheveux. Il serait naturellement de loin préférable d'employer des instruments plus petits encore que l'on pourrait implanter



complètement sous la peau. Dans ce but, nous avons mis au point dans notre laboratoire un petit stimulateur à trois canaux, qui peut être placé sous la peau et dont les fils terminaux s'implantent directement dans le cerveau (Fig. 6). Cet instrument est transistorisé, il n'a pas de batterie et il peut fonctionner indéfiniment. L'énergie électrique nécessaire, le contrôle à distance des paramètres de stimulation et le choix des canaux sont assurés par un couplage trans-

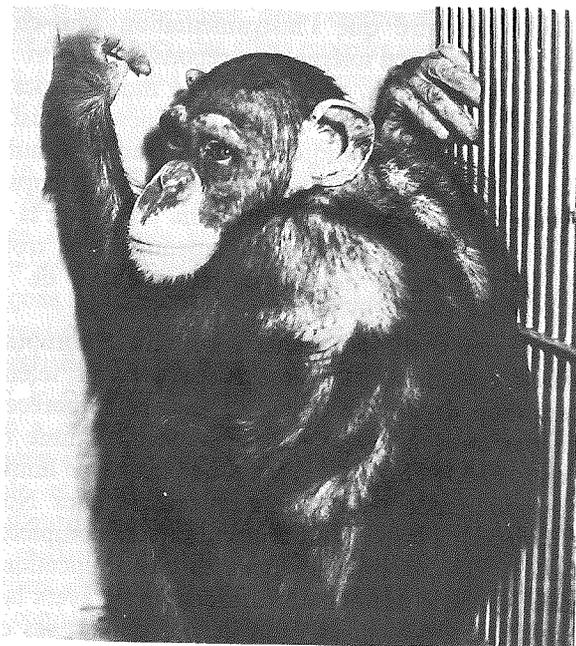


Fig. 6. Les deux faces d'un stimulateur transdermal à trois canaux. L'instrument n'a pas de batteries, il fonctionne par radio et peut durer une vie entière, de telle sorte que le cerveau peut être stimulé indéfiniment. Le chimpanzé Suzi (à droite) porte deux de ces unités (soit dix canaux) implantées sous la peau du dos.

dermal, comportant une petite bobine à induction activée par des signaux radio en fréquence modulée. En février 1969, une expérience débuta sur le singe NONA et sur le chimpanzé SUZI. Ils furent l'un et l'autre équipés d'un stimulateur sous-cutané permettant d'activer leur cerveau de temps à autre pendant le reste de leur vie. Les contacts terminaux étaient situés dans les voies motrices afin de provoquer la flexion du membre contralatéral, un effet assez simple pour être observé et quantifié sans difficultés. L'étude sur Nona et Suzi, et des recherches préliminaires sur d'autres sujets, ont démontré que l'instrumentation sous-cutanée est efficace, sûre et bien tolérée. Les réponses comportementales furent consistantes, et l'excitabilité motrice locale ne fut pas modifiée par l'expérimentation répétée. Ainsi sont résolus les problèmes techniques que soulevait la stimulation d'une zone quelconque du cerveau aussi longtemps que l'on veut en l'absence de fils conducteurs traversant la peau. Les possibilités scientifiques et thérapeutiques se trouvent accrues, et le confort des sujets est amélioré de façon notable.

La prochaine étape technique consistera à combiner la stimulation transdermique du cerveau avec la télémétrie transdermique de l'EEG. Dans ce cas, le stimorécepteur ne sera pas situé à l'extérieur de la peau, comme c'était le cas chez Paddy (Figure 3); ses fonctions ne se limiteront pas à la stimulation transdermique, comme chez Nona et Suzi (Figure 6); l'instrument tout entier sera complètement sous-cutané. La technologie pour la communication non sensorielle entre le cerveau et l'ordinateur à travers la peau intacte est dès à présent au bout de nos doigts; ses conséquences sont difficiles à prévoir. Dans le passé, les progrès de la civilisation ont amplifié de façon extraordinaire le pouvoir de nos sens et de nos muscles. Nous ajoutons aujourd'hui une nouvelle dimension : la relation directe entre les cerveaux

et les machines. Cette affirmation, toute vraie qu'elle soit, est peut-être trop spectaculaire et elle exige d'être soigneusement clarifiée. Notre connaissance actuelle concernant le codage de l'information, les mécanismes de la perception, et les bases neuronales du comportement est si rudimentaire qu'il est hautement improbable que l'on puisse capter les corrélats électriques des pensées ou des émotions, les transmettre et les appliquer aux structures appropriées d'un autre sujet par lequel ils seraient reconnus et chez qui ils déclencheraient des pensées ou des émotions correspondantes. Il est, cependant, déjà possible d'induire une grande variété de réponses, des effets moteurs aux réactions émotionnelles et aux conduites intelligentes, par stimulation électrique directe du cerveau. Plusieurs chercheurs ont également réussi à identifier les configurations de l'activité électrique (qu'un ordinateur pourrait lui aussi reconnaître) localisées dans des zones cérébrales spécifiques et liées à des phénomènes déterminés tels que la perception des odeurs ou la perception visuelle des arêtes et des mouvements. Nous avançons rapidement dans la reconnaissance des *patterns* caractéristiques des corrélats électriques du comportement et dans la méthodologie de la communication radio à double sens entre le cerveau et les ordinateurs.

On a exprimé la crainte que cette nouvelle technologie n'amène avec elle la menace d'un contrôle à distance indésirable et immoral des activités cérébrales de l'homme par d'autres hommes. Mais, comme nous le verrons plus loin, ce danger est fort improbable et est compensé par les bénéfices cliniques et scientifiques que l'on peut en attendre. Les connaissances en électronique et la microminiaturisation ont progressé à un point tel que les limites paraissent d'ordre biologique plutôt que technologique. Ce qui nous manque le plus c'est une information expérimentale plus poussée sur les mécanismes neuronaux liés aux processus

comportementaux et mentaux; la recherche chez des sujets libres de toute contrainte permet de nous apporter une compréhension nouvelle de l'esprit normal et des moyens thérapeutiques plus efficaces pour traiter les cerveaux altérés.

LA STIMULATION ÉLECTRIQUE DU CERVEAU (SEC)

Le contrôle central de l'ensemble du corps réside dans le cerveau; la méthodologie récente des électrodes implantées a fourni un moyen d'accès direct aux centres qui règlent la plupart des activités de l'organisme. Le cerveau constitue aussi le substrat matériel des fonctions mentales, et en explorant ses neurones en action, nous avons la possibilité d'investiguer expérimentalement certains des problèmes classiques de la relation entre cerveau et esprit. Tout en apportant des réponses nouvelles, l'implantation d'électrodes soulève de nouveaux problèmes : Est-il possible de faire agir comme des robots des animaux ou des hommes en pressant les boutons d'un stimulateur radio ? Pourrait-on placer sous le contrôle artificiel de l'électronique les besoins, les désirs, les pensées ? Peut-on influencer la personnalité par la SEC ? Peut-on contrôler l'esprit par des interventions physiques ?

La littérature scientifique comporte déjà une quantité