

Extraits du livre intitulé « Physical Control of the Mind »

# La Stimulation Electrique du Cerveau

## Vers une société psycho-civilisée

Jose M. Delgado

1969 et révisions

Traduit d'après le document intitulé « Physical Control of the Mind » disponible sur  
<http://www.freedomfchs.com/pcofthemindbydrjosed.pdf>

## Table des matières

Partie I - L'évolution mentale.....	7
Chapitre 1 - Le contrôle de la destinée humaine. Libération de l'état naturel.....	7
Partie II - Le cerveau et la pensée en tant qu'entités fonctionnelles.....	12
Chapitre 7 - Dépendance sensorielle de l'esprit chez l'adulte.....	12
Chapitre 8 - Hypothèses de travail pour l'étude expérimentale de la pensée.....	16
Chapitre 9 - L'histoire des expériences de contrôle matériel du système nerveux.....	17
Partie III - Expériences de contrôle des fonctions cérébrales sur des sujets en action.....	19
Chapitre 10 - Contrôle des fonctions cérébrales sur des sujets en action.....	19
Chapitre 11 - Méthode de communication directe avec le cerveau .....	21
Chapitre 12 – Stimulation électrique du cerveau.....	31
Chapitre 13 – Effets moteurs.....	33
Chapitre 14 – Enfer et paradis dans le cerveau: le système de punition et de récompense.....	44
Chapitre 15 – Hallucinations, souvenirs et illusions chez l'Homme.....	64
Chapitre 16 – Effets d'inhibition sur les animaux et les humains.....	66
Partie IV – Evaluation du contrôle par stimulation électrique du cerveau.....	84
Chapitre 17 - Evaluation du contrôle par stimulation électrique du cerveau.....	84
Chapitre 18 – Activation électrique de la « volonté ».....	86
Chapitre 19 – Caractéristiques et limites de la prise de contrôle du cerveau.....	89
Chapitre 20 – Applications médicales.....	91
Chapitre 21 – Considérations éthiques.....	97
A propos de l'auteur.....	103

## Quelques extraits de cet ouvrage

### *Chapitre 8*

« Dans le cerveau, il existe des mécanismes basiques responsables de toutes les activités mentales, y compris la perception des sensations, les émotions, la pensée abstraite, les relations sociales ainsi que les créations artistiques les plus élaborées. 2) Ces mécanismes peuvent être détectés, analysés, influencés et parfois remplacés par des moyens physiques ou chimiques. Cette approche n'affirme pas que l'amour ou les pensées sont exclusivement des phénomènes neurophysiologiques mais accepte l'évidence que le système nerveux central est absolument nécessaire à toute manifestation du comportement. Il s'agit d'étudier les mécanismes impliqués. 3) Des réponses mentales et comportementales déterministes peuvent être induites par une manipulation directe du cerveau. 4) Nous pouvons substituer une réaction intelligente et volontaire du fonctionnement nerveux à la place des réaction automatiques. »

### *Chapitre 10*

« Un manipulateur peut volontairement induire chez les chats, les singes et même les humains, la flexion d'un membre, le fait de vomir, ou de ressentir des émotions par l'influence d'impulsions électriques portées par des ondes radio qui atteignent les profondeurs du cerveau. »

### *Chapitre 12*

« La littérature scientifique présente déjà une quantité substantielle d'informations concernant les effets induits par SEC. Par exemple, le coeur peut être arrêté pendant l'intervalle de quelques battements, ralenti ou accéléré par une stimulation adaptée de certaines structures corticales et sous-corticales. Ceci illustre bien que c'est le cerveau qui contrôle le coeur et non pas le contraire. Le rythme et l'amplitude de la respiration ont été commandées par SEC. La sécrétion et les mouvements gastriques aussi. Le diamètre de la pupille peut être ajusté à volonté (illustration 7), entre sa contraction maximale et sa dilatation maximale, comme s'il s'agissait d'un obturateur d'appareil photo, en tournant simplement le bouton commandant l'intensité de la stimulation électrique appliquée dans la région de l'hypothalamus (61). La plupart des fonctions viscérales ont été modifiées par SEC, de même que les perceptions sensorielles, l'activité motrice et les fonctions mentales. »

### *Chapitre 13*

« Mais le fait surprenant est que la SEC peut, en fonction de l'endroit où elle est appliquée, induire non seulement des actes simples mais aussi des comportements complexes et bien organisés, qui sont à distinguer des actes spontanés. »

« La stimulation de zones précises du cerveau a permis d'induire la plupart des mouvements simples observés dans le comportement spontané. Ceci inclut le froncement de sourcils, l'ouverture et la fermeture des yeux, l'ouverture, la fermeture et l'orientation de la bouche, les mouvements de la langue, la mastication, les contractions de la face, les mouvements des oreilles, les rotations, flexions et extensions de la tête et du corps et des mouvements de jambes, bras et doigts. Nous en concluons que la plupart sinon tous les mouvements simples existants peuvent être induits par

stimulation du cerveau... En fait la surprise vient du fait que l'utilisation d'impulsions électriques appliquées directement sur le cerveau peut activer des structures cérébrales qui ont la capacité complexe de commander la marche. Et cette marche apparaît avoir des caractéristiques normales. »

### ***Chapitre 14***

« Certains patients ont montré un état d'anxiété et d'agitation lors de la stimulation du pallidum par une onde de fréquence supérieure à 8 hertz et ils sentaient aussi une sensation de chaleur écrasante dans la poitrine (123). Quelques uns ont fait état d'une « anxiété vitale dans la poitrine », et se mettaient à crier d'angoisse lorsque l'expérience était répétée. »

### ***Chapitre 16***

« Un exemple de sommeil induit par SEC du cerveau d'un singe est visible sur l'illustration 18. Après 30 secondes de stimulation de l'aire septale les yeux de l'animal ont commencé à se fermer, se tête s'est abaissée, son corps s'est détendu et il a parut tomber dans un état naturel de sommeil...En théorie il devrait être possible de traiter l'insomnie chronique par la stimulation du cerveau, ou de créer une horloge biologique artificielle réglant l'activité et le repos par le moyen d'une stimulation programmée des aires d'excitation et d'inhibition du cerveau. Mais relever ce déficit nécessite encore des recherches. »

« A proximité des zones inhibitrices de la faim, il existe un zone qui est impliquée dans l'inhibition de l'agressivité. Lorsque cette partie du noyau caudé est stimulée (illustration 20), le macaque rhésus, au comportement normalement féroce, devient tranquille et au lieu de saisir, griffer et mordre tous les objets à s'approchant de lui, il s'assoit paisiblement et l'expérimentateur peut toucher sa bouche et le soigner sans risques. Pendant tout ce temps, l'animal est conscient de l'environnement, mais il a tout simplement perdu son irritabilité habituelle. Ceci montre que la violence peut être inhibé sans rendre l'animal somnolent ou déprimé. L'identification des zones cérébrales responsables de la férocité pourrait amener à la possibilité de bloquer leur fonctionnement et diminuer l'agressivité naturelle sans impacter la vivacité du comportement. »

« L'illustration 23 montre que le singe Ali, le chef, puissant et de mauvais caractère, d'une colonie, montrait souvent son hostilité en mordant sa main et en menaçant les autres membres. La stimulation radio du noyau caudé de Ali a bloqué son agressivité naturelle avec une telle efficacité que l'on pouvait prendre l'animal dans sa cage sans difficulté ni danger. Puis on a placé un levier sur la mur de la cage. Sa pression permettait de déclencher une stimulation radio de 5 secondes du noyau caudé d'Ali. De temps en temps certains singes dominés touchaient le levier qui se trouvait situé près du plateau d'alimentation, ce qui déclenchait la stimulation d'Ali. Une femelle singe, nommée Elsa a rapidement découvert que l'agressivité de Ali pouvait être inhibé en appuyant sur ce levier, et lorsque Ali la menaçait, on a noté à plusieurs reprises que Elsa réagissait en appuyant sur le levier. Son regard direct vers le dominant était très significatif car un singe dominé n'oserait pas agir de la sorte, de peur de représailles immédiates. »

« Par exemple, une de nos patientes devait compter les nombres entiers en croissant à partir de 1. Arrivée au nombre 14, la SEC fut appliquée et la parole s'est immédiatement interrompue, sans changement de la respiration ou de l'expression faciale et sans anxiété ou peur. Lorsque la stimulation a cessé quelques secondes plus tard, la patiente a repris immédiatement le décompte. »

## ***Chapitre 18***

« Nous pouvons conclure que la SEC peut déclencher et influencer certains mécanismes cérébraux impliqués dans la comportement volontaire. Ceci nous permet d'étudier les fonctions neuronales en relation avec ce que l'on nomme « volonté » et, dans un futur proche, cette méthode expérimentale devrait permettre de clarifier des concepts aussi controversés que la « liberté », « l'individualité » et de la « spontanéité » grâce à des termes concrets plutôt que de débattre vaguement sur ces termes.

La possibilité d'influencer les actes volontaires par stimulation électrique a bien sûr des implications éthiques, dont nous allons discuter. »

## ***Chapitre 20***

« Les lignes électrique ont aussi été utilisées pour transmettre des messages simples dans les profondeurs du cerveau dans le but d'éveiller des fonctions dormantes ou d'apaiser une activité neuronale excessive. Une nouvelle méthode fut alors établie pour imposer l'ordre à l'activité désordonnée. »

« Un système de communication radio bi-directionnelle pourrait être établi entre le cerveau d'un individu et un ordinateur. Certains types d'activités neuronales liées à des comportements perturbés tels que l'anxiété, la dépression ou la colère pourraient être identifiés dans la but de déclencher une stimulation des zones inhibitrices spécifiques. La stimulation du cerveau à la demande pour corriger des dysfonctionnements cérébraux présente une nouvelle approche de thérapeutique corrective (feedback). Bien que ceci soient des spéculations, ils s'agit de possibilités réelles si l'on considère nos connaissances actuelles et les méthodologies prévues. »

« Dans un futur proche il sera nécessaire d'examiner la question plus en détail afin de déterminer quelles parties du cerveau sont considérées essentielles pour la survie de la personnalité humaine... La possibilité de la survie de « pièces » ayant des fonctions psychiques va rendre la définition de l'homme plus difficile et peut être compliquer encore la réponse à la question «qu'est ce que la vie humaine? »

## ***Chapitre 21***

« Il existe un aspect de la recherche humaine qui est en général négligé: l'existence d'un devoir moral et social de faire avancer la connaissance scientifique et d'améliorer le bien-être de l'homme. Lorsque des connaissances médicales importantes peuvent être obtenues avec des risques négligeables et sans empiéter sur les droits des individus, le chercheur à le devoir d'utiliser son intelligence et ses compétences dans ce but. Ne pas le faire est une négligence professionnelle en quelque sortes similaire à celle d'un médecin qui ne consacrerait pas tous ses efforts pour prendre soin d'un patient. Les sujets ayant des électrodes implantées sont un bon exemple, car l'utilisation de la télémétrie et d'enregistrements vidéo en eux, rends possible de nombreuses études centrées sur la cause de leurs activités normales et anormales, l'analyse spectrale des ondes électriques, le temps de conduction, les potentiels induits et les corrélations entre ondes électriques et comportements.

Ce type de recherches peut fournir de données de très grande valeur, qui ne peuvent être obtenues que depuis des sujets humains, sans risques, ni même sans solliciter le temps et l'attention des patients. Les informations peuvent être obtenues alors que le sujet agit normalement, par exemple lorsqu'il lit le journal, regarde la tv ou dort. Seuls le système d'enregistrement et l'équipe de recherche doivent être en activité. La méthodologie de l'étude télémétrique du cerveau est toute

nouvelle et il faudra quelques temps avant que son potentiel et son côté pratique soient reconnus et son utilisation répandue dans les hôpitaux. A mon avis cette recherche est à la fois éthique et souhaitable. »

« Mais, la nouvelle technologie neurologique est devenu plus efficace. L'individu est sans défenses contre la manipulation directe de son cerveau car il est dépouillé des mécanismes les plus intimes de sa réactivité biologique. Dans les expériences, la stimulation électrique d'une intensité appropriée prévaut toujours sur le libre arbitre. Par exemple la flexion induite de la main par la stimulation du cortex moteur ne peut pas être empêchée volontairement. La destruction des lobes frontaux produit des changements dans l'efficacité qui sont hors de tout contrôle personnel. La possibilité d'annihiler l'identité de l'individu ou pire, de le contrôler à volonté, a parfois été considérée une menace future pire que l'holocauste atomique. »

# Partie I - L'évolution mentale

## Chapitre 1 - Le contrôle de la destinée humaine. Libération de l'état naturel.

La vie à l'état naturel est caractérisée par une confrontation permanente des forces. Les vers comme les éléphants, les moustiques, les aigles, le plancton ou les baleines s'activent sur terre, dans les airs ou dans les mers avec une volonté (ou sans volonté claire) qui échappe à la compréhension humaine. Leurs comportements sont régis par des lois qui remontent à une époque antérieure à l'apparition de l'intelligence humaine.

Dans le royaume animal, le code génétique implique que les caractéristiques anatomiques et fonctionnelles sont prédéterminés dès la naissance. La croissance et le développement de l'organisme ne dépend que de la nature de l'individu et de son environnement. Le fait que il y a 300 millions d'années, toutes les créatures vivaient dans la mer n'a rien à voir avec leur propre volonté mais était le résultat de l'évolution. L'apparition des dinosaures il y a 80 millions d'années, leur domination sur Terre et leur apogée 30 millions d'années plus tard n'était pas dû à la volonté de ces animaux qui possédaient un cerveau proportionnellement petit et étaient probablement peu intelligents, mais à un climat chaud et humide qui permettait une couverture végétale fournie, de plantes comme des palmiers et des fougères géantes, pratiquement jusqu'au pôle nord. La fin catastrophique de ces gigantesques reptiles est due à leur inadaptation au changement de climat et à la diminution de la nourriture. Il y a 70 million d'années, l'air était plus sec et frais qu'auparavant. Des hautes plaines ont émergé et des forêts de grands arbres sont apparues. Ce changement de milieu fut problématique pour les dinosaures, qui par manque d'intelligence n'ont pas pu s'adapter pour augmenter leur ressources ou changer de régime alimentaire. Ceci provoqua leur disparition au profit d'animaux plus petits, à sang chaud et munis d'une fourrure.

L'apparition de l'homme il y a environ un million d'années ne représentait que l'apparition d'une nouvelle espèce animale qui subissait les mêmes lois que les autres animaux et dépendait totalement des forces naturelles. L'homme, comme l'éléphant ou la grenouille, possède des poumons, des os, un cerveau... La circulation sanguine propulsée par le coeur, ou les phénomènes physiologiques étaient, et sont toujours, très similaires chez tous les mammifères et dépendent de mécanismes pré-établis et indépendants de la volonté. La destinée des individus était déterminé par un ensemble de facteurs biologiques et de circonstances environnementales qui ne pouvaient pas être prédits, compris ou modifiés. Le sort naturel de l'homme était tel qu'il souffrait des intempéries, était décimé par le temps froid, la malnutrition et toutes sortes de parasites et de maladies. Il ne savait pas faire du feu ou construire une roue et il ne pouvait pas encore modifier le fonctionnement de son corps ou de son environnement.

Un pas décisif fut fait lorsque l'homme pu dominer les autres créatures en se libérant de son état naturel. Pourquoi l'homme devait-il accepter les contraintes inutiles? Pourquoi devait il être mouillé lorsqu'il pleuvait, frigorifié lorsque le soleil disparaissait, ou tué lorsque ces prédateurs étaient affamés? Pourquoi ne couvrirait-il pas son corps avec la douce fourrure des autres animaux, ne construirait-il pas des outils et des abris, ne collecterait-il pas de l'eau et de la nourriture? Lentement les premières étincelles d'intelligence commencèrent à remettre en cause la destinée naturelle. Le cheptel devint une source de nourriture plus fiable que la chasse en forêt. Des endroits furent défrichés d'une végétation qui poussait selon les caprices de la nature, et cultivés.

Les hommes commencèrent à prendre soin de leur corps et ils apprirent à se soigner. Un membre

fracturé n'était plus la cause d'une infirmité permanente mais pouvait être réparé par l'application temporaire de branches attachés par des végétaux. L'expérience personnelle fut transmise de générations en générations et la culture perpétuée par l'élaboration graduelle du langage parlé et écrit. Tout ceci amena à une progression de la civilisation. Les hommes apprirent à travailler en groupe, à échanger des compétences et des connaissances et à joindre leurs compétences pour améliorer leur sort. La curiosité s'est développée constamment et ceci amena à formuler des quantités de questions à propos de la réalité observable. L'homme s'est libéré de son état naturel non pas en se cachant dans des cavernes mais en faisant face au danger et l'homme a remis en cause les énormes forces de la nature. Il utilisa un levier pour soulever des poids supérieurs à ce qu'il pouvait soulever par sa seule force, à utiliser le vent pour traverser les océans sur des bateaux et à domestiquer les rivières et placé des moulins pour moulinier les céréales. C'est ainsi que l'homme commença à dominer la nature. C'était la victoire de l'intelligence humaine sur un sort naturel et sans but. Une victoire sans précédent dans le monde animal. L'adaptation de l'homme lui a permis de survivre dans des conditions climatiques extrêmes, des régions arctiques aux déserts arides, dans les hautes altitudes et dans les zones tropicales. Mais ce fut le développement matériel et intellectuel de la civilisation qui amena réellement au degré actuel de libération de l'état de nature et même de domination de la nature. Ayant gagné une indépendance considérable par rapports aux éléments naturels l'intelligence et l'activité humaine ont pu alors se concentrer sur des objectifs dépassant la simple survie. Les preuves de la force de l'homme ce sont alors répandus sur toute la surface terrestre. Les champs sont apparus, les villes, les routes sur terre et maritimes, les tunnels dans les montagnes, puis il contrôla l'atome et gagna les étoiles. En dépit des problèmes inhérents au développement de la civilisation, c'est un fait qu'aujourd'hui nos vies dépendent plus de décisions intelligentes (ou bêtes! n.d.t.) que des circonstances naturelles. Les sociétés modernes ne sont plus faites d'éléments naturels mais d'immeubles, de machines, et de cultures qui sont le produit de l'homme. La médecine moderne a créé un environnement plus sain, réduit la mortalité infantile diminuant le nombre et la gravité des maladies et a considérablement augmenté la durée de vie. Selon les lois naturelles qui s'imposaient encore il y a quelques siècles, la peste dévastait l'humanité de temps en temps, les insectes répandaient des infections, plus de la moitié des enfants mourraient avant l'âge de trois ans, la vieillesse commençait à 30 ou 40 ans et seulement une minorité atteignait l'âge de 50 ans. La science a permis de modifier notre biologie, d'avoir une meilleure diète, une meilleure hygiène et des traitements pharmaceutiques et chirurgicaux.

Concevoir l'évolution en terme d'opposition de l'intelligence humaine au destin naturel est très spectaculaire et permet de mettre en valeur l'importance relative des facteurs naturels et humains dans le déroulement des événements. Néanmoins, nous devons admettre que dans la réalité, l'homme lui même, ainsi que toutes ces capacités, y compris celle de se libérer de la nature et de dominer, sont le produit de la nature. L'homme n'a pas inventé l'homme. Aucun effort conscient n'a encore été fait pour concevoir ou modifier la structure anatomique de son cerveau. Ce n'est pas parce que les ailes se sont développées chez les oiseaux lors de leur évolution que l'on peut affirmer que les oiseaux se sont volontairement libérés de la gravité en remettant en cause les lois naturelles jusque à en vigueur. Le fait que les oiseaux volent montre que l'évolution a franchi un seuil: échapper à la gravité en utilisant le support de l'air. Les oiseaux ont la faculté de vivre et d'évoluer dans l'air au dessus de toutes les créatures terrestres. Leur ailes furent un don gracieux de l'évolution, sans qu'il leur soit nécessaire de connaître les lois de la physique, le calcul mathématique ou même sans qu'ils aient la volonté d'acquiescer des ailes. La nature semble grandement créative mais excessivement lente. Il a fallu de nombreux millions d'années entre le début de la vie sur terre et l'apparition des animaux volants. La durée entre l'apparition de la conscience humaine et l'invention des avions fut beaucoup plus courte. L'accélération formidable de l'évolution est due à la puissance particulière de l'imagination et du raisonnement, et l'on peut supposer que les inventions humaines vont avoir de plus en plus d'importance dans le contrôle de toutes les activités sur terre. Les oiseaux volent et les hommes pensent. La libération par rapport à la nature et la domination de la nature ont changé l'écologie et cela a transformé aussi les besoins,

les buts et l'organisation de la vie humaine, particulièrement dans les domaines suivants:

### ***La liberté de faire des choix:***

A la différence de nos ancêtres et des membres actuels de sociétés primitives, nous bénéficions de possibilités presque sans limites de choisir parmi quantité d'activités et de centres d'intérêts. La vie moderne n'est pas contrainte par les restrictions physiques imposées par la géographie; nos voies peuvent être transmises à la vitesse de la lumière partout dans le monde; la télévision nous montre n'importe quel événement au moment où il se produit; et nous pouvons nous déplacer dans des pays distants à vitesse supersonique. Notre capacité à nous alimenter n'est pas limitée par nos capacités à chasser. Au contraire nous avons souvent la possibilité de choisir dans plusieurs supermarchés un assortiment de produits culinaires provenant de divers pays. Pour nous cultiver nous ne sommes plus limité à la relation parlée mais avons accès à de nombreux centres d'apprentissage de mieux en mieux équipés dans lesquels les différents aspects de la culture humaine sont enregistrés et conservés. Nous pouvons choisir parmi une variété de divertissements, de carrières professionnelles, d'idées et de religions. Même la famille peut être planifiée, les naissances étant contrôlées grâce aux techniques médicales et de contraception.

Aujourd'hui nos activités sont moins déterminées par l'adaptation à la nature que par l'ingéniosité et la capacité à prévoir de l'esprit humain. Et récemment nous avons ajouté une autre dimension au spectre des choix possibles: la possibilité d'explorer notre propre composition physique et chimique. Les limites de notre domaine d'exploration sont imposées par l'éducation, la législation, les contraintes sociales et financières, qui sont des créations de la civilisation, plutôt que de la nature, comme cela était le cas auparavant. L'homme civilisé s'est entouré d'une quantité d'équipements qui permettent d'augmenter ses capacités sensorielles, ses compétences, sa force et la vitesse à laquelle il se déplace, sans réaliser, sans doute, que dans son effort pour se libérer de la nature, il créait une nouvelle sorte de servitude, celle envers les machines, les engins, la finance, et les ordinateurs. Les préoccupations des temps anciens, envers la ressource en nourriture et les prédateurs ont été remplacées par des préoccupations économiques, des problèmes industriels et la crainte de la morbidité due à l'atome. En dépit de la formidable augmentation des possibilités d'actions, la liberté humaine devient de plus en plus contrainte par la mécanisation qui remplace les contraintes naturelles en tant qu'élément déterminant du comportement. La libération de l'écologie est mise en parallèle avec une dépendance à la mécanisation qui consomme une quantité considérable de l'énergie humaine, qui doit s'investir dans l'invention, la construction et la maintenance des machines. Le possibilité d'agir de manière libre est contrainte en fonction du choix que l'on fait de suivre tel ou tel voie de développement. Mais ce qui est essentiel pour atteindre un état de liberté est la capacité d'être conscient des différents facteurs qui influencent notre comportement, de manière à nous assurer que nos comportements ne sont pas automatiques, mais délibérés et personnels. René Dubos disait que « La nécessité de faire des choix est sans doute l'aspect le plus constant de la conscience humaine; cela constitue son plus grand atout et son plus grand fardeau. »

### ***La faculté de conscience:***

Les capacités qui distinguent le plus l'homme des autres animaux sont la conscience de soit et la faculté de résister même de changer ce qui apparaît comme sa destinée naturelle. Le degré de conscience des individus varie selon les circonstances personnelles. La conscience est plutôt coûteuse, c'est un luxe, qui consomme de temps et des efforts et nous l'utilisons peu lorsque nous réalisons les nombreuses tâches du quotidien, qui sont basées sur la répétition d'actes automatiques. La marche par exemple nécessite l'acquisition fastidieuse de capacités moteurs au début de la vie, mais une fois que nous avons acquis les formules complexes nécessaires au contrôle des mouvements, nous n'avons plus à nous concentrer sur les perceptions, la force, la vitesse, le rythme

et la séquence des actes musculaires; nous nous levons simplement et marchons pendant que notre esprit est occupé par d'autres pensées. Tous ces procédés sont automatiques et, en grande partie, sont caractéristiques de chaque individu. Nous pouvons, néanmoins, focaliser notre attention sur tous les aspects de la marche et nous rééduquer ou modifier notre formulation mentale de la marche pour améliorer l'élégance et la grâce des mouvements ou pour mimer le déplacement des marins, des ivrognes ou des cowboys, comme le feraient des acteurs.

S'arrêter à un feu rouge ne nécessite pas de prendre une décision car nous sommes très entraînés et conditionnés pour cette action. Si nous faisons une pause pour analyser notre comportement, nous pouvons avoir conscience des actes de notre corps dans le but d'appuyer sur les freins et des raisons pour lesquelles nous nous arrêtons et obéissons au code de la route et nous pouvons alors remettre en question notre action et même l'outrepasser. Il n'y a pas de choix lorsque nous agissons de manière automatique, mais si nous évaluons les raisons et les circonstances de notre action, nous pouvons imaginer d'autres réponses possibles. Ceci s'applique aussi aux réactions émotionnelles sociales.

La conscience est augmentée par la connaissance des mécanismes de phénomène considéré. Par exemple, un expert va certainement noter un bruit de moteur suspect. Il perçoit des éléments sonores qui ne seront probablement pas détectés par un conducteur non entraîné. La connaissance des structures et des éléments mécaniques impliqués augmente la probabilité de prévoir et prévenir une possible panne et aussi de réparer des éléments défectueux.

Notre comportement est composé, pour une part considérable, de réponses automatiques à des stimulations. Mais si nous connaissions les facteurs génétiques et culturels déterminants, ainsi que le fonctionnement cérébral impliqué dans divers comportements, nous pourrions nous rapprocher de la compréhension des motivations qui soutiennent nos actions. Si nous avons la connaissance des facteurs qui influencent nos comportements, nous pourrions les accepter ou les rejeter et ainsi diminuer leur impact sur notre comportement. Cela aurait pour conséquence de diminuer nos réponses automatiques et d'augmenter notre capacité à choisir nos réponses aux stimulations de notre environnement. La conscience permet une plus grande responsabilité individuelle dans nos comportements.

### ***La responsabilité***

L'homme primitif n'avait pas le choix d'aller au cinéma, de lire un livre ou de regarder la télévision. Il était entièrement occupé à chercher de la nourriture et à se battre pour survivre. Considérant les nombreuses alternatives de comportement qui nous sont proposées aujourd'hui, nous avons à faire un effort conscient pour comprendre et évaluer les différentes possibilités, et peut être pour modifier ou réprimer certaines réactions émotionnelles à ces possibilités et, en fin de compte pour choisir un cheminement dans notre action. Dans de nombreux cas, ceci est réalisé à un niveau subconscient, et notre action se déroule sans efforts. A d'autres occasions nous sommes conscient d'un acte imminent et de ses possibles alternatives et il nous est difficile et fatiguant de prendre une décision. Le choix conscient d'un chemin d'action parmi plusieurs nous met devant une plus grande responsabilité puisque ce choix ne dépend pas de réactions automatiques ou de facteurs extérieurs qui dépasseraient nos forces. Le jugement intelligent est basé sur les qualités personnelles de l'individu et particulièrement sur sa capacité à évaluer différentes solutions. Le fait de choisir implique d'assumer la responsabilité de la direction que prend le destin de l'individu et plus il est conscient et libre de ces choix, plus il peut être tenu responsable. Dans un petit groupe social tel qu'une tribu, les conséquences du choix du chef sont plutôt limitées, alors que dans une société contemporaine très

organisée, les décisions des élites gouvernementales affectent un grand nombre de personnes. L'action politique de ces personnages puissants dans les domaines de l'aide apporté à l'étranger, des échanges culturels, et de la paix ou la guerre vont affecter la vie dans de grandes parties du monde. Nous devrions nous rappeler que le processus de choix implique toujours des mécanismes intracérébraux qui sont jusqu'à aujourd'hui peu connus.

### *L'accumulation du pouvoir*

Les développements technologiques et industriels ont créé des ressources jusque là jamais atteintes et un potentiel de construction et de destruction immense. Nous avons déjà dépassé les obstacles naturels des rivières, des mers et des montagnes, et ils ne constituent plus d'insurmontables limites aux activités des hommes. Au même moment, nous avons accumulé des mégatonnes d'énergie atomique, capables d'annihiler toutes formes de vie sur terre.

Des instruments ont été conçus pour multiplier par plusieurs millions la capacités de perception de nos sens, notre force musculaire et notre capacité à traiter des informations. En plus d'augmenter nos biens matériels, nous avons grandement augmenté notre capacité à organiser et utiliser les ressources disponibles. Des plans d'urbanisation, de développement des industries, de la recherche, de l'éducation et de l'économie de manière générale, ont été élaboré avec précision par des experts et ces plans sont essentiels pour l'organisation et l'évolution de nos sociétés. Ces développements eux aussi soulèvent la question de la responsabilité dans les choix et les objectifs à atteindre. Du fait de l'importance des ressources matérielles et de nos capacités intellectuelles atteintes, les résolutions prises par les élites peuvent avoir des conséquences décisives sur le développement scientifique et économique, sur l'évolution de la civilisation en général, voir sur la pérennité de l'homme.

Les pays les plus puissants doivent constamment faire face aux choix qu'ils font concernant l'utilisation de la force et des efforts conscients doivent être faits pour prendre des décisions intelligentes qui sont exprimées en terme d'objectifs nationaux, tels que le but de réduire la pauvreté, envoyer un homme sur la lune ou de planifier le développement industriel, agricole et scientifique. Etant donné que les ressources ne sont pas illimitées, un effort important porté dans un domaine d'action, par exemple l'armement ou la conquête de l'espace, réduit d'autant le développement d'autres domaines moins favorisés. L'homme consacre toujours plus de son énergie à contrôler les forces de la nature et il est peut être temps de se poser la question de savoir que l'orientation prise actuellement par notre société est désirable et sain ou s'il faut réexaminer dans la globalité les objectifs universels de l'humanité et porter plus d'attention à nos objectifs principaux, qui ne devraient pas être de développer des machines, mais l'homme lui-même.

## Partie II - Le cerveau et la pensée en tant qu'entités fonctionnelles

### Chapitre 7 - Dépendance sensorielle de l'esprit chez l'adulte

Bien que l'on considère effectivement que la réception des informations sensorielles est considéré comme absolument essentielle à l'activation et au développement des fonctions mentales, il est plus ou moins explicitement considéré qu'un adulte à une capacité mentale fonctionnant de manière relativement indépendante de son environnement. L'individualité, la capacité d'initiative et le libre arbitre s'expriment dans la capacité d'accepter ou de rejeter des idées et de faire des choix de comportement. Un homme peut s'isoler, méditer, et explorer les profondeurs de ces propres pensées. L'éducation, particulièrement dans les cultures occidentales, est en grande partie basée sur la croyance que la personnalité de l'individu est tout à fait personnelle, relativement indépendante, avec sa propre destinée, bien différenciée de son environnement, et capable de fonctionner en autonomie, même si elle est isolée de la terre et transportée dans une capsule orbitale.

Néanmoins, une analyse plus poussée de la réalité montre que l'activité cérébrale est essentiellement dépendante des influx sensoriels provenant de l'environnement, non seulement à la naissance mais tout au long de la vie. Une activité mentale normale ne peut pas être maintenue en l'absence d'un flux d'informations provenant du monde extérieur. Le cerveau mature, enrichi de toutes ces expériences passées et des capacités acquises, ne peut maintenir un fonctionnement normal de la pensée, ni même un niveau normal de conscience et de réactivité dans un environnement vide de stimulations sensorielles: La capacité de penser de l'individu ne peut pas exister uniquement par elle-même.

Ceci est démontré par des expériences en neuro-physiologie et en psychologie. Chez les mammifères, le centre de commandement de l'activité moteur est localisée dans des zones spécifiques du cortex cérébral où les muscles et la formulation des mouvements sont représentés. Le cheminement des influx nerveux passe par la colonne vertébrale et émerge à travers les racines situées du côté ventral pour former les plexus nerveux et les nerfs moteurs. Ainsi que nous devons nous y attendre, la destruction expérimentale ou l'altération due à une maladie, des racines ventrales provoque une paralysie complète, car les influx nerveux ne peuvent plus atteindre les muscles. Si l'on considère la chaîne des influx entrants, nous savons que toutes les sensations provenant de la périphérie du corps, y compris les influx provenant des muscles eux-mêmes, sont transportés à travers les racines dorsales de la colonne vertébrale. Comme nous pouvons le supposer, la destruction des racines dorsales provoque une perte de sensations, mais l'on note de plus une paralysie des muscles aussi prononcée que lorsque seuls les racines ventrales sont atteintes. Ces expériences montrent qu'en l'absence d'informations provenant des sens, l'activité moteur est totalement interrompue. La présence du cerveau et des chemins nerveux commandant les mouvements en bon état ne sont pas suffisants et un fonctionnement moteur correct nécessite absolument la transmission des influx sensoriels.

Les expériences menées par Sprague et al. (217) chez le chat, confirment l'importance des influx entrants pour le fonctionnement normal du cerveau. Ces chercheurs ont détruit la partie latérale du haut du cerveau moyen, à travers de laquelle passent le plupart des influx sensoriels et ils ont observé que, en plus de déficit attendu en capacités sensorielles, le chat montre une perte d'affection, d'agressivité et d'expression de plaisir et ne sollicite plus que l'on le cajole. Les animaux restent muets, sans expressivité et ont peu de réactions, mais en dépit de cette passivité globale, ils montrent un comportement exploratoire excessif. Ils errent en permanence, reniflent et cherchent comme s'ils hallucinaient. « En l'absence des influx standards en direction de l'encéphale antérieur via le lemniscus, les parties restant intactes du système nerveux central... semblent incapables d'élaborer une grande partie du répertoire de comportements adaptatifs » (217)

Les données d'expérience de psychologie confirment l'importance fondamentale de la réception des influx nerveux. Des expériences de privation sensorielles chez l'animal et chez l'homme ont montré

qu'il est difficile, si ce n'est impossible de maintenir une activité mentale normale lorsque les informations sensorielles sont réduites. De plus la perception de sensations permanentes est aversive. Les animaux et les humains ont besoin de nouveauté et d'une stimulation variée provenant de leur environnement.

La perception de l'environnement a des effets de renforcement positif et lorsque des singes sont confinés dans des cages ils s'adonnent volontiers à des expériences consistant à appuyer sur des leviers ou à réaliser des tâches plus complexes dans le but d'obtenir une récompense qui consiste à ouvrir une petite fenêtre leur permettant de jeter un oeil sur le monde extérieur. La curiosité dépend de l'attente que l'on a de nouvelles sensations et cela motive le comportement d'exploration aussi bien chez l'animal que chez l'homme, alors que l'ennui, qui est dû à l'absence de nouvelles sensations, a des effets de renforcement négatif. (16, 95) . La distraction provient de la perception de nouvelles sensations, principalement visuelles et auditives. L'homme primitif percevait probablement du plaisir à regarder la beauté changeante de la nature, et ceci est encore le cas aujourd'hui. La civilisation a fourni des moyens techniques d'avoir un plus grand choix de stimulus et nous passons une grande partie de notre temps, de nos efforts, de notre activité mentale et de nos ressources économiques à nous divertir grâce aux livres, au théâtre, à la radio, la télévision, les musées et d'autres médias culturels.

Nous pourrions évoquer « l'énergie psychique » comme étant le niveau d'activité cérébrale et nous pourrions peut être considérer en terme neurophysiologique, qu'il s'agit de la quantité de processus électriques et chimiques situés dans des complexes nerveux spécifiques. Cette énergie psychique pourrait être considérée comme un élément déterminant de la quantité et de la qualité des manifestations intellectuelles et comportementales. Alors que cette énergie dépend évidemment de la physiologie du cerveau (et donc indirectement de l'état de santé global de l'individu), son origine est en fait extra-cérébrale, puisque l'activité cérébrale n'est pas une production spontanée des neurones, mais dépend des informations perçues, lesquelles ré-activent les informations passées stockées dans la mémoire avant de générer des émotions et des idées.

Etre seul en possession de notre esprit n'est pas suffisant. Même si toutes les expériences passées sont bien présentes, l'absence de nouvelles perceptions entraîne de graves répercussions fonctionnelles. Ceci a été montré par exemple dans les expériences de Hebb et de son équipe (18, 103) dans lesquelles on a demandé à des étudiants de s'allonger confortablement sur des lits situés dans un cube illuminé, et insonorisés. Afin de limiter les perceptions ils étaient munis d'oculaires translucides et de gants à manchettes en carton. Le but n'était pas de couper toutes sensations mais seulement de réduire les perceptions habituelles. La plupart des sujets croyaient qu'ils emploieraient ce temps de solitude pour réviser leurs connaissances, préparer leurs examens et organiser leurs futures exposés. Le résultat surpris les chercheurs aussi bien que les étudiants. Ils furent en réalité « incapables de penser clairement à propos de quoi que ce soit et quelle que soit la durée et leurs processus de pensées semblaient affectés d'une manière inhabituelle. » Après plusieurs heures d'isolement, plusieurs d'entre eux commencèrent à voir des images telles que « un rocher dans l'ombre d'un arbre », « une procession d'écureuils », ou des « animaux préhistoriques marchant dans la jungle ». Au début ils en étaient surpris et amusés. Mais après un temps leurs hallucinations devinrent perturbantes et suffisamment envahissantes pour gêner leur sommeil. Les étudiants avaient peu de contrôle sur ces phénomènes, qui dans certains cas, incluaient des perceptions acoustiques et visuelles comme la voix de personnes, la musique d'une boîte à musique, ou une chorale chantant à plein volume et en stéréo. Certains sujets percevaient des sensations de toucher, une sensation de présence voir comme si une personne se tenait allongé à côté d'eux sur le lit. L'isolation avait aussi tendance à augmenter la croyance en des phénomènes surnaturels et plusieurs étudiants ont rapporté que pendant plusieurs jours après leur isolement, ils craignaient de voir des fantômes. La conclusion de ces expériences fut que « un environnement sensoriel qui varie semble

essentiel aux êtres humains. Sans cela, le cerveau cesse de fonctionner normalement et des comportements anormaux se développent. » (103)

On a noté chez les patients hospitalisés sur une longue durée sur un lit, équipés d'un poumon d'acier ou corsetés, l'apparition de symptômes de type psychotiques, tels que l'anxiété, le délire, ou les hallucinations qui ne répondent pas aux traitements standards mais disparaissent facilement suite à des relations sociales ou l'utilisation d'un poste de radio ou de télévision. (141)

Au cours du XXème siècle, la punition classique de l'isolement a été combinée avec la privation de sommeil dans un but de guerre psychologique. L'épuisement et la réduction des stimulations sensorielles sont connus pour engendrer des perturbations mentales et la baisse de l'immunité et cela a été effectivement utilisé dans les techniques de « lavage de cerveau » ou de « réforme mentale » dans le but d'endoctriner des prisonniers (141, 244).

Il existe une abondante littérature concernant la privation de stimulations sensorielles (197), qui conclue que le cortex cérébral doit recevoir un flux régulier de stimulations sensorielles afin de conserver un état mental et un comportement normal. En conséquence, nous devons prendre conscience que nos fonctions mentales et cérébrales dépendent totalement de l'apport constant de stimulations sensorielles et qu'elles s'interrompent en cas d'isolement. Ce fait a été reconnu par des philosophes, et l'on peut noter d'après Ortega y Gasset (167) « L'Homme n'a pas de nature; il a une histoire » et « Je suis moi et les circonstances qui m'ont faites ». Ortega a contribué à faire comprendre que les expériences font partie de la personnalité de l'individu. Cette affirmation est présentée dans Les Méditations sur Quichotte (166), lorsque l'un des personnages dit que « les circonstances de mon existence forment l'autre moitié de ma personnalité » et que « destinée spécifique de l'homme est de revivre les mêmes circonstances » (« re-absorption of circumstances is the specific destiny of man. ») Une pensée similaire est exprimée dans le poème Ulysse de Tennyson, lorsque Ulysse dit que « Je suis fait de tout ceux que j'ai rencontré » (« I am a part of all that I have met. »).

Le point de vue de Ortega a une grande valeur en philosophie, mais ne pourrions nous pas aller jusqu'à s'interroger sur l'existence de cette seconde moitié de la personnalité qui n'aurait pas l'environnement de l'individu pour origine. Si nous pouvions effacer toute l'histoire personnelle, toutes les circonstances et les expériences passées, resterait il la moindre partie de notre personnalité? Le cerveau existant toujours, le réseau de neurones continuerait peut être à s'activer, mais n'ayant aucune mémoire des expériences passées et aucunes connaissances acquises, il ne pourrait pas exister d'activité mentale et la pensée serait en fait totalement « à blanc »? Rappelons nous que Dobzhansky affirmait que (64) les « gènes ne déterminent pas le caractère ou des aspects de l'individu mais des réactions, des réponses. » Notre référentiel et les éléments sur lesquels notre personnalité se construit sont des matériaux reçus du monde extérieur. Les mécanismes cérébraux, qui sont aussi en grande partie déterminés par nos expériences passées, ont pour rôle de recevoir, classer, combiner et stocker toutes les informations reçues, mais non de les inventer. L'originalité consiste en la création de nouvelles associations entre des informations que nous avons déjà connues. Nous devons comprendre que la structure anatomique du cerveau n'a pratiquement pas changé pendant les derniers millénaires: ce qui a changé c'est la quantité d'informations reçues par le cerveau et l'entraînement que nous suivons. La différence fondamentale entre un homme des cavernes et un scientifique contemporain n'est pas dans la génétique mais dans la culture.

Pendant des siècles la philosophie a soutenu que l'entité soit nommée « moi », soit nommée

« esprit », soit nommée « ego » est relativement indépendante de l'environnement (et peut être même des gènes) et qu'elle constitue l'essence propre de chaque individu, possédant ces caractéristiques propres, qui sont parfois menacées ou empêchées par son environnement social.

Ce mythe du « moi » est tellement fort qu'il a imprégné la pensée d'auteurs véritablement originaux et révolutionnaires tels que Marcuse. Dans *L'Homme unidimensionnel* il fait la distinction entre les besoins réelles et artificiels en déclarant: « Les faux besoins sont ceux qui sont imposés à l'individu par une société qui l'oblige... La plupart des besoins qui s'imposent de se détendre, de s'amuser, de se comporter et de consommer d'après la publicité, d'aimer ou de détester ce que les autres aiment ou détestent, appartiennent à la catégorie des faux besoins ... ils sont imposés par des forces extérieures sur lesquelles l'individu n'a aucun contrôle... Les seuls besoins dont la satisfaction ne peut être mise en cause sont vitaux: se nourrir, se vêtir et se loger. »

Selon Marcuse, la liberté individuelles « désigne l'espace privé dans lequel l'homme devient et continue d'être « lui-même »... Aujourd'hui l'espace privé a été envahi et réduit par la technologie ». La question évidente est de savoir qu'est ce que ce « lui-même ». D'où vient-il? De quoi est-il constitué? Existe-t-il un moyen pour un bébé d'acquérir une expérience qui va lui permettre de former une personnalité par des moyens autres que l'influence des ses parents, professeurs, et de la culture qui l'entoure et sur laquelle il n'a pas de contrôle? Allons nous considérer les besoins d'un enfant comme artificiels du fait qu'ils lui ont été suggérés? Qu'est ce que cet homme « intérieur »?

Le plaidoyer de Marcuse pour la « liberté intellectuelle » et sa critique des « besoins matériels et intellectuels qui perpétuent des formes obsolètes de lutte pour la vie » est certainement justifié, mais on ne peut pas soutenir qu'un état indéterminé de liberté existe chez l'enfant alors qu'il est totalement dépendant physiquement et psychologiquement de son environnement. La liberté doit être enseignée et créée.

Le concept d'inter-dépendance de l'individu et de son « environnement psychique » aussi nommé « noosphère » a été inventé par Teilhard de Chardin (223) et il a écrit que l'individu et l'univers entier « croissent dans la même direction et culminent en même temps l'un dans l'autre ». C'est la conscience de « l'Hyper personnalité » portée au « Point Oméga ». Considérant que chacun de nous perçoit, interprète et sent le monde qui nous entoure, en quoi la moitié de nous même qui constitue notre propre personnalité devrait elle s'opposer à la moitié « noosphérique ». Teilhard de Chardin, comme Ortega et Gasser et beaucoup d'autres philosophes acceptent l'existence de ce quasi mythique «soi» inviolable, identifié d'une manière ou d'une autre à la pensée individuelles, l'ego, la personnalité, en relation à son environnement, mais d'une manière relativement indépendante.

Des études récentes en neuro-physiologie et en psychologie dont nous avons discuté montrent que ce n'est pas le cas. L'origine de la mémoire, des réactions émotionnelles, des capacités motrices, de l'expression verbale, des idées et des comportements qui constituent notre personnalité, est à l'extérieur de l'individu. Chaque personne est le produit inconstant des éléments prélevés dans son environnement et son esprit n'est que la production interne élaborée à partir d'informations extra-cérébrales. « La moitié personnelle de l'individu » est une agglomération d'éléments de son environnement. Le résultat final, qui se manifeste dans les réactions de l'individu et son comportement, est plus due aux éléments qu'il a prélevé dans la culture qui l'entoure qu'à la constitution même de la personne.

L'on ne peut qu'être impressionné par la philosophie décrite par Lévi-Strauss (1942) des Indiens Bororo, une tribu très primitive vivant au bord du Rio Vermelho dans la jungle amazonienne. Pour eux, un homme n'est pas un individu mais un élément d'un univers social. Leurs villages existent « de toute éternité », et font partie de l'univers matériel avec d'autres êtres inanimés, des corps célestes et des phénomènes météorologiques. L'incarnation humaine est transitoire, à mi-chemin entre le poisson et le perroquet arara. La vie humaine n'est qu'une partie de la culture. La mort est à la fois perçue comme naturelle et nuisible à la culture et lorsqu'un membre de la tribu meurt, cela porte atteinte non seulement à la famille mais à toute la société. La nature est tenue responsable et elle doit payer pour cela. En conséquence une chasse collective est organisée afin d'abattre un animal de bonne taille, si possible un jaguar, afin de rapporter sa fourrure, ses dents, ses griffes pour constituer les quelques biens qui symboliseront la valeur éternelle du défunt.

Conclure que les hommes sont entièrement partie de leur culture ne nie pas le fait que les « individus » ont des réactions « individuelles » et que leur cerveau est formé d'une combinaison unique d'éléments, mais souligne seulement l'origine et la qualité des traits personnels. Les mécanismes cérébraux qui nous permettent de recevoir, interpréter et réagir, ainsi que les sources de stimulations d'origine externe, peuvent, et doivent, être étudiés de manière expérimentales. C'est ainsi que nous pourrions acquérir une meilleure conscience de la structure des individus et de leurs relations avec la « noosphère » qui les entoure.

## Chapitre 8 - Hypothèses de travail pour l'étude expérimentale de la pensée.

Une des principales conséquences des découvertes de la science moderne est un changement d'attitude envers le cours de la vie humaine. Nous n'acceptons plus comme avant la fatalité découlant de facteurs mal déterminés concernant l'hérédité, le fonctionnement du corps et l'environnement et la recherche de connaissances et de technologies permettant de diriger nos vies de manière plus intelligente s'est intensifiée. Le code génétique est en cours de décryptage, ce qui permet d'envisager dans un futur plus ou moins proche que nous pourrions modifier l'hérédité dans le but d'éviter le mongolisme ou de promouvoir la transmission de certaines caractéristiques anatomiques ou fonctionnelles. Les études en neurophysiologie ont établi une corrélation entre les phénomènes mentaux et des changements chimiques dans le système nerveux central, et des activations électriques spécifiques dans certaines régions du cerveau peuvent être mises en évidence suite à la stimulation visuelle basée sur la reconnaissance de séquences, de formes ou de mouvements. Des avancées dans d'autres domaines de la science ont montré que les fonctions mentales et le comportement peuvent être modifiées par la chirurgie (lobotomie frontale), par des méthodes électroniques (stimulation du cerveau), et par l'utilisation de la chimie (administration de médicaments). Toutes ces méthodes nous donnent maintenant accès à l'étude de la pensée.

La possibilité d'influencer l'activité mentale par une manipulation directe des structures cérébrales est sans doute une innovation dans l'histoire humaine et les objectifs actuels ne sont pas seulement d'augmenter notre connaissance des fondements neurophysiologiques de la pensée mais aussi d'influencer les mécanismes mentaux par le moyen d'instruments.

Les hypothèses de travail peuvent être résumées à: 1) Dans le cerveau, il existe des mécanismes basiques responsables de toutes les activités mentales, y compris la perception des sensations, les émotions, la pensée abstraite, les relations sociales ainsi que les créations artistiques les plus élaborées. 2) Ces mécanismes peuvent être détectés, analysés, influencés et parfois remplacés par

**des moyens physiques ou chimiques.** Cette approche n'affirme pas que l'amour ou les pensées sont exclusivement des phénomènes neurophysiologiques mais accepte l'évidence que le système nerveux central est absolument nécessaire à toute manifestation du comportement. Il s'agit d'étudier les mécanismes impliqués. **3) Des réponses mentales et comportementales déterministes peuvent être induites par une manipulation directe du cerveau.** 4) **Nous pouvons substituer une réaction intelligente et volontaire du fonctionnement nerveux à la place des réaction automatiques.**

Lorsque nous évaluons les résultats d'expérience nous devons toujours nous rappeler qu'il y a toujours une influence de la méthode utilisée sur les résultats obtenus, par exemple, au sens que si nous étudions le cerveau grâce à un oscilloscope, nous obtiendrons des données de potentiels électriques mais pas de données concernant la composition chimique des neurones. Les réactions psychologiques et comportementales échappent souvent à la méthode d'étude neuro-physiologique, et une approche multi-disciplinaire coordonnée est nécessaire. La musique n'est pas faite d'une seule note, mais c'est le produit d'une séquence spatio-temporelle de nombreux sons. De même, l'activité mentale ne provient pas de l'activité de certains neurones mais de celle de nombreux groupes de neurones. La colère par exemple est caractérisée par des changements électrochimiques ainsi que des fonctions sensorielles et moteurs qui sont manifestement perceptibles dans les relations sociales. Certaines manifestations de la rage ont été mises en évidence en terme de décharges de certains neurones particuliers, mais ce phénomène implique des réactions à plusieurs niveaux et il faudrait le mettre en évidence de manière globale, et dans un contexte social, pour l'étudier de manière correcte.

La mise au point de nouvelles technologies pour explorer et communiquer avec les profondeurs du cerveau lorsque le sujet a des réponses spontanées ou évoquées permet maintenant aux scientifiques d'analyser et de surveiller les mécanismes fondamentaux de l'esprit et ceci permet une compréhension unique des fondements matériels et fonctionnels de la structure mentale des individus. Dans le futur nous devrions constater la collaboration entre ceux qui étudiaient à l'origine la physiologie des neurones sans se préoccuper du comportement et ceux qui étudiaient le comportement tout en ignorant la structure du cerveau.

## Chapitre 9 - L'histoire des expériences de contrôle matériel du système nerveux.

Expérience	Résultats
Muscles des grenouilles contractés par l'électricité. Volta 1800, Galvani 1791, du Bois Reymond 1848	La présence de l« esprit vital » n'est pas nécessaire pour qu'une activité biologique existe. La stimulation électrique faite de main d'homme peut démarrer et modifier le fonctionnement d'un processus vivant.
La stimulation électrique du cerveau sur un chien anesthésié provoque des mouvements localisés du corps et des membres. Fritsch et Hitzig 1870	Le cerveau peut être excité. La stimulation électrique du cortex cérébral peut produire des mouvements.
La stimulation du diencephale sur des chats non anesthésiés implique des effets moteurs bien ordonnés et des réactions émotionnelles. Hess	Les effets moteurs et émotionnels peuvent être évoqués par stimulation électrique du cerveau d'animaux éveillés.

1932.	
L'apprentissage, le conditionnement, la réactions automatiques, la douleur, le plaisir ont été induits ou inhibés par stimulation électrique du cerveau de rats, chats et singes. Delgado et al. 1954, Olds and Milner 1954, voir la bibliographie dans Sheer, 1961	Les phénomènes psychologiques peuvent être contrôlés par la stimulation électrique de zones spécifiques du cerveau.
Dans des groupes de chats et des singes, il est possible d'induire, l'agression, la domination, la saillie et d'autres types d'inter-actions sociales par stimulation radio de zones spécifiques du cerveau. Delgado 1955, 1964.	Le comportement social peut être contrôlé par radio-stimulation de zones spécifiques du cerveau.
Il a été possible, sur des patients en cours d'intervention chirurgicale, ou ayant des électrodes implantées dans le cerveau pendant plusieurs jours à plusieurs mois, de bloquer le processus de pensée, d'inhiber la parole et les mouvements. Dans d'autres cas il a été possible d'induire le plaisir, le rire, le comportement amical, la parole, l'hostilité, la crainte, les hallucinations et le souvenir. Delgado et al 1952, 1968. Penfield and Jasper 1954. Voir la bibliographie dans Ramey et O'Doherty 1960.	Les fonctions mentales peuvent être influencées par stimulation électrique de zones spécifiques du cerveau humain.

### ***Résumé***

Les fonctions automatiques et somatiques, le comportement individuel et social, les réactions émotionnelles et mentales peuvent être induits, maintenus, modifiés ou inhibés par stimulation électrique de zones spécifiques du cerveau chez l'animal et chez l'homme. Il est démontré que l'on peut prendre contrôle des fonctions du cerveau de manière matérielle, mais les possibilités et les limites de ce contrôle sont encore peu connues.

## Partie III - Expériences de contrôle des fonctions cérébrales sur des sujets en action.

### Chapitre 10 - Contrôle des fonctions cérébrales sur des sujets en action.

Dans monde de technologie, nous sommes habitués à l'idée que les machines peuvent être contrôlées à distance par des signaux radio. Les portes d'un garage peuvent être ouvertes et fermées en appuyant sur un bouton situé dans notre voiture; la télévision peut être réglée en utilisant une télécommande sans avoir à se déplacer de notre confortable fauteuil et même les capsules spatiales peuvent être dirigées depuis une station de suivi au sol. Ces réalisations doivent nous familiariser avec l'idée que nous pourrions aussi contrôler les fonctions biologiques des êtres vivants à distance. Un manipulateur peut volontairement induire chez les chats, les singes et même les humains, la flexion d'un membre, le fait de vomir, ou de ressentir des émotions par l'influence d'impulsions électriques portées par des ondes radio qui atteignent les profondeurs du cerveau.

Cette réalité amène une quantité de questions scientifiques et philosophiques et afin de comprendre la signification, le potentiel et les limitations du contrôle à distance sur le cerveau, il est utile de revoir rapidement les fondements du comportement et la méthodologie permettant de le modifier. Il est enfin utile de montrer quelques exemples de contrôle du comportement par stimulation électriques chez les animaux et chez l'homme.

#### *Les fondements physico-chimiques du comportement.*

Chez les végétaux comme chez les animaux, la dynamique des processus biologiques dépend de déplacement de charges ioniques et des changements de polarité électrique à travers les membranes qui séparent les cellules du milieu qui les entoure. Par exemple, lors de la photosynthèse, la feuille d'un arbre capte l'énergie du soleil et un potentiel électrique négatif apparaît sur la surface placée au soleil. De manière similaire, l'activation d'un axone de calamar, d'un muscle de grenouille, ou du cerveau humain est suivie d'une onde de potentiel négatif qui traverse la membrane cellulaire avant de disparaître. Ce changement de potentiel de la membrane induit un courant électrique dans le cytoplasme cellulaire et le fluide entourant la cellule. Il est donc possible de réaliser une étude de l'activité cellulaire en enregistrant l'évolution du potentiel électrique qui apparaît dans la membrane ou en détectant les différences de potentiels qui apparaissent dans le fluide extra-cellulaire, même si les électrodes de mesure sont placées à une distance considérable de la source de l'activité électromotrice. C'est le principe de base de l'enregistrement de l'activité électrique du cœur (électrocardiogramme = ECG), en utilisant des électrodes placées sur les extrémités, ainsi que de l'étude des potentiels électriques du cerveau (électroencéphalogramme = EEG) en utilisant des électrodes placées sur le scalp. Lorsque les électrodes sont placées au plus proche de la source, par exemple à l'intérieur du cerveau, les enregistrements sont plus précis et peuvent mettre en évidence la localisation précise de la source d'activité électrique. De même, en utilisant une source externe de courant, un champ électrique peut être établi dans le fluide extra-cellulaire, et une partie du courant traverse la membrane cellulaire, ce qui modifie sa charge et sa perméabilité et induit une propagation du signal que l'on nomme « stimulation ».

Pour arriver à stimuler il est nécessaire de réduire rapidement la charge positive qui existe au repos sur la surface des cellules jusqu'à atteindre un niveau limite de dépolarisation. Alors la perméabilité aux ions de la membrane est modifiée, ce qui déclenche la séquence « normale » de phénomènes

électriques et chimiques. L'excitation est initiée à proximité de la cathode car l'application de charges négatives neutralise les charges normalement présentes au repos sur la partie extérieure de la membrane des cellules. Lorsque la stimulation prend fin, la polarité positive est rétablie à la surface de la membrane grâce à des réactions chimiques spécifiques et la cellule est à nouveau en état d'être stimulée. Ce processus relativement simple de dépolarisation et re-polarisation de la membrane des cellules est le fondement de l'excitation des neurones et il est la base de l'extraordinaire complexité des comportements.

Bien sûr il existe un fossé énorme entre la compréhension de ce phénomène au niveau d'une cellule et le décryptage de la chaîne des phénomènes qui se déroule lorsqu'un organisme entier agit. Comment peut-on expliquer des activités telles que la marche, la résolution de problèmes, ou l'élaboration de pensées en terme de polarisation et re-polarisation de membranes? Aucun comportements ne peuvent exister sans que l'on mette en évidence des variations de potentiels électriques, mais ceci est aussi vrai en ce qui concerne la mesure de la consommation d'oxygène et de sucre. Nous nous devons pouvoir faire la différence entre des mécanismes non spécifiques, tels que les besoins métaboliques (oxygène, sucre etc), de ceux qui sont précisément en rapport avec la réponse comportementale. L'activité électrique des neurones semble remplir le double rôle d'indiquer des activités non spécifiques et de transmettre des informations codées. Cette capacité de transmettre des informations codées est l'aspect le plus important et le moins connu des cellules nerveuses et elle est à la base de la communication nerveuse. En architecture, si l'on considère un nombre précis de briques, il est possible de construire un nombre infini de types de maisons. Nous devons arriver à connaître à la fois les propriétés spécifiques de ces briques et les modes d'organisation de ces briques dans le but de définir les qualités et propriétés du bâtiment. Les caractéristiques de la réponse comportementale sont déterminées par la combinaison de beaucoup de phénomènes de dépolarisation organisées dans l'espace et ordonnées en séquences temporelles. Leur arrangement est souvent si complexe que cela défie l'analyse expérimentale. C'est pourquoi nous devons commencer par examiner des phénomènes très simples. L'axone du calamar fut un objet d'étude très populaire en neurophysiologie pendant des années. Néanmoins, nous devons être très vigilants lorsque nous appliquons des résultats d'expérience sur ce type de préparation lorsque nous voulons en tirer la compréhension de la réponse moteur à l'activité mentale. Nous devons nous rappeler que la connaissance des lettres de l'alphabet ne permet pas d'expliquer une phrase entière ou de révéler la beauté d'un poème.

En plus d'étudier les changements spontanés du potentiel des membranes, nous pouvons artificiellement dépolariser des membranes par stimulation de groupes de neurones dans le cerveau dans le but d'étudier leur organisation fonctionnelle et les conséquences de leur stimulation au niveau de l'organisme entier. Ces deux approches expérimentales devraient être utilisées simultanément dans le but de corrélérer le fonctionnement au niveau cellulaire et le résultat comportemental. Notre connaissance actuelle des bases physiques et chimiques de l'activité biologique, dont il existe une importante bibliographie (23, 182, 203), permet d'affirmer les principes suivants:

- 1) Toute manifestation comportementale y compris ces aspects mentaux nécessite l'existence d'ondes de potentiels négatifs accompagnées par des changements électriques et chimiques au niveau cellulaire
- 2) La dépolarisation de la membrane induite de manière artificielle par une méthode électrique ou chimique devrait être suivie d'une manifestation comportementale
- 3) Bien que la complexité de cette réponse est extraordinaire et en grande partie inconnue, celle-ci ne requiert pas l'existence d'un « esprit vital » ou de tout autre principe métaphysique car elle est uniquement en rapport avec des lois de la physique et de la chimie qui peuvent

être étudiées de manière expérimentale.

Les classiques expériences de Galvani, qui montrent que des cuisses de grenouilles décapitées réagissent au contact d'une stimulation électrique, ont été répétées de nombreuses fois tous les ans au lycée et dans les laboratoires universitaires. Cette simple expérience montre qu'un processus du vivant, la contraction d'un muscle peut être déclenché selon la volonté de l'expérimentateur autant de fois qu'il le souhaite. En l'absence de stimulation les cuisses ne se contractent pas.

Si les cellules du muscle sont mortes, l'excitabilité et la contractibilité sont perdues et le muscle ne réponds plus. La contraction de la cuisse de grenouille est similaire que le stimulation est lieu directement sur le muscle, à travers le nerf excitateur, ou depuis le cerveau. L'électricité appliquée ne crée pas le mouvement, mais n'intervient comme agent de la dépolarisation, ce qui déclenche une chaîne d'évènements qui dépendent de l'organe stimulé.

La fiabilité de cette expérience et l'apparente simplicité de la contraction musculaire peut être trompeuse car en réalité cette contraction dépend d'un ensemble extrêmement complexe de processus, incluant: dépolarisation de la membrane, changement dans sa perméabilité, échange précipité de potassium, sodium et d'autres ions, apparition d'un champ électrique, réorientation des protéines des muscles dans la fibre musculaire avec un raccourcissement de la longueur des chaînes, la décomposition et la synthèse d'adénosine tri-phosphate, l'échange d'acide phosphorique et beaucoup d'autres réactions enzymatiques et biochimiques qui se succèdent selon un séquence déterminée par le code génétique, à l'intérieur de la fibre musculaire et indépendamment de l'agent qui a déclenché la réaction. Le mécanisme de contraction et de relaxation de la fibre musculaire sont des phénomènes pré-établis dans la structure biologique des cellules. **La stimulation électrique, comme le fait le système nerveux lui-même, agit comme un déclencheur de ce processus. Ce principe est fondamental pour la compréhension de contrôle des fonctions biologiques par l'électricité.** Lorsque la réaction en chaîne est démarrée, elle se déroule selon un plan qui peut être modifié grâce à des informations en retour ou par l'arrivée de nouvelles stimulations. Dans certains cas le déclencheur peut ne pas être spécifique, par exemple, la contraction musculaire peut être déclenchée par une stimulation mécanique, thermique, osmotique, chimique, électrique ou neuronale. Lors de l'étude du cerveau ou des muscles, il est préférable d'utiliser la stimulation électrique car elle ne cause pas de dégâts aux cellules et permet donc de répéter l'expérience. En appliquant de l'électricité nous pouvons activer les mécanismes fonctionnels pré-établis dans une structure et découvrir ces possibilités d'action spontanée. Par le moyen de la stimulation électrique du cerveau, il est possible de contrôler une quantité de fonctions: un mouvement, une sécrétion glandulaire, ou une activité mentale spécifique, selon la cible de l'expérience. La méthode, des exemples et une sélection de résultats obtenus par stimulation électrique du cerveau sont exposés dans les chapitre suivants.

## Chapitre 11 - Méthode de communication directe avec le cerveau

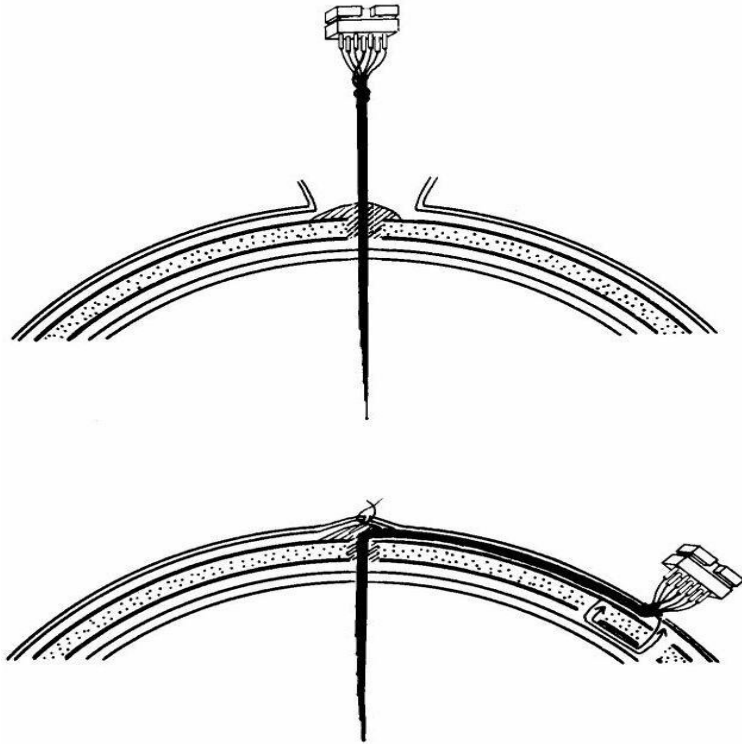
Les profondeurs du système nerveux central peuvent être atteintes très facilement grâce aux ouvertures abritant les organes des sens. De tels stimuli comme un signal lumineux traversant rapidement la rétine de l'oeil vers le nerf optique puis le cortex visuel qui est situé dans le lobe occipital. Serait il possible d'explorer l'activité des neurones au niveau local au cours de la perception? Pourrions nous induire une perception identique en stimulant directement les neurones concernés? Pouvons-nous atteindre l'esprit d'un individu sans passer par la voie normale des organes des sens? Pouvons-nous commander les fonctions du cerveau de manière artificielle? Ces

questions ont attiré l'intérêt de beaucoup d'expérimentateurs, mais le cerveau étant bien abrité sous des couches de membranes, le fluide spinal, l'os et des ligaments, un formidable écran à longterm gardé la curiosité des scientifiques à distance des secrets du fonctionnement mental.

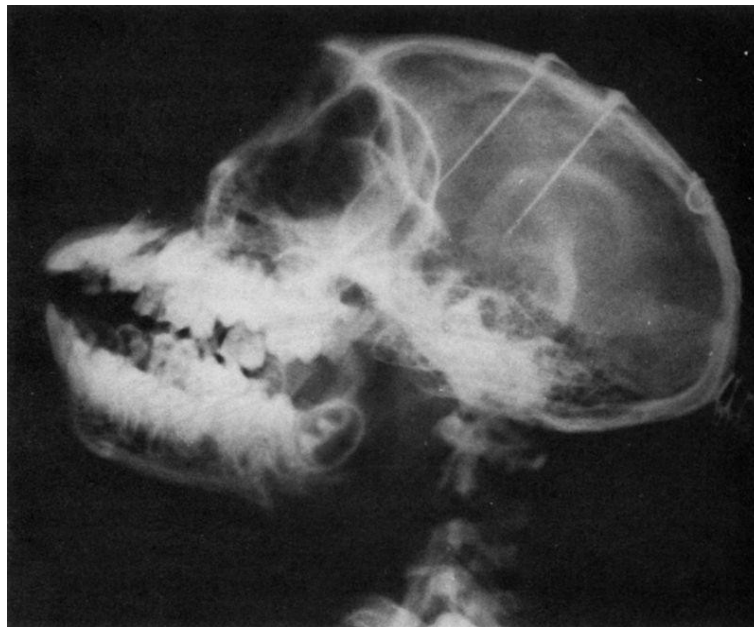
### *Implantation d'électrodes sur des animaux*

Depuis le XIXème siècle, beaucoup de chercheurs ont exploré le cerveau, d'abord sur des animaux et récemment sur des humains dans un but de diagnostic et de thérapie. Ces explorations nécessitaient d'ouvrir la peau et le crâne et la douleur causée nécessitait d'opérer sous anesthésie. Ceci bloquait la perception de la douleur mais inhibait aussi certaines fonctions importantes du système nerveux. Les émotions, la conscience et la liberté de comportement étaient évidemment inopérant sous une forte sédation et pendant de nombreuses années les scientifiques ont orienté leur recherches sur des sujets endormis en évitant la complexité de l'étude de cerveau éveillés. Les livres de référence en physiologie cérébrale exposaient les chemins neuronaux, les connexions, les réflexes, les postures et les mouvements et l'on considérait que le comportement relevait d'une autre discipline.

C'est dans les années 1930 qu'une avancée technologique due à W.R. Hess (106) permit d'étudier le cerveau sur des animaux en action. Il définit une procédure pour implanter de petits fils de connexion (ou électrodes) à l'intérieur du cerveau ce chats anesthésiés. Après l'anesthésie, l'animal, relativement libre de ses mouvements, pouvait recevoir une stimulation électrique dans le cerveau en connectant la source de courant à la partie des fils émergeant à la surface du crâne. Cette procédure a été améliorée au début des années 1950 (47, 49) en réduisant la taille des électrodes tout en augmentant leur nombre et en prenant plus de mesures d'asepsie lors de l'implantation. La précision d'implantation dans des zones précises du cerveau fut améliorée par l'utilisation d'instruments de micro-manipulation et d'un système de coordonnées anatomiques précises, ce qui a permis d'atteindre les mêmes structures cérébrales sur plusieurs sujets expérimentaux. L'utilisation de matériaux inerte au point de vue biologique, tels que l'or, le platine ou l'acier inoxydable isolé par du téflon permit de laisser les électrodes en place de manière permanente. Un schéma représentant l'implantation de 7 électrodes est montré sur l'illustration 1 et la radiographie de la tête d'un singe après implantation est montrée en figure 2. A travers une petite incision dans la boîte crânienne, l'électrode est introduite jusqu'à une profondeur déterminée. Elle est fixée au crâne grâce à du ciment dentaire et la partie émergeant est repliée sur le crâne. Un deuxième point de fixation est placé à distance de l'ouverture. A cet endroit une fiche de connexion est placé à la surface de la tête. Chaque point de ce connecteur correspond à un point de contact dans la profondeur du cerveau, qui devient accessible simplement en branchant la fiche de connexion. C'est aussi simple que de brancher un appareil électrique sur une prise de courant. Cette technique à servit à la stimulation électrique du cerveau (SEC, « Electrical Stimulation of the Brain » ou ESB en anglais) de milliers d'animaux dans de nombreux laboratoires du monde entier et il existe de nombreux exemples de son efficacité, sa précision et sa sûreté.



*Illustration 1: Schéma du montage d'une électrode implantée dans le cerveau et ancrée au crâne. Les profondeurs du cerveau sont ainsi accessibles en branchant simplement un connecteur (52).*



*Illustration 2: Radiographie de la tête d'un singe montrant deux montages d'électrodes implantées dans le lobe frontal et le thalamus (49).*



*Illustration 3: Les chimpanzés Paddy (gauche) et Carlos, chacun muni de deux électrodes intra-cérébrales et de leurs boîtiers de connexion. En dépit de l'implantation envahissante, aucun déficit du comportement n'a pu être détecté et les animaux sont encore vivants et en excellente santé deux ans après la chirurgie.*

Ces expériences réussies ont mis fin au scepticisme qui entourait à l'origine l'idée d'introduire des électrodes dans le cerveau, considérant que cette procédure serait difficile au niveau technique, dangereuse, et entraînant un dysfonctionnement important du cerveau. Il est vrai que l'implantation des électrodes détruit des neurones sur l'axe de leur implantation, rompt des vaisseaux capillaires et produit sur la durée une réaction locale avec formation d'une capsule fibreuse le long de l'axe d'implantation. Néanmoins il a été démontré que les hémorragies locales sont négligeables et que du fait de la redondance bien connue des tissus neuronaux, le nombre d'alternatives de chemins neuronaux, la destruction d'un relativement petit nombre de neurones n'engendre pas de déficit mental mesurable.

La réaction locale d'encapsulation des électrodes n'empêche pas la conduction électrique. Au delà de cette fibrose d'une épaisseur de 0,1 à 0,2 millimètres, le cerveau apparaît histologiquement normal. Si l'on en juge par l'absence d'activité électrique anormale, la fiabilité des effets engendrés par la stimulation électrique du cerveau (SEC) et par la constance du seuil d'excitabilité au cours de plusieurs mois d'expérimentation, les électrodes semblent plutôt bien tolérées. Certains de nos singes ont eu des électrodes dans leur tête pendant plus de 4 ans. Le scellement est très résistant et après quelques tentatives d'arrachage et de grattage du connecteur, les singes semblent en ignorer la présence.

Comme il est montré sur l'illustration 3, certains chimpanzés ont eu jusqu'à 100 points de contacts implantés dans le cerveau sans changement notable de leur neurophysiologie ni de leur comportement et dans certains singes, les contacts étaient placés dans des zones cérébrales vitales et sensibles, telles que le centre contrôlant la respiration, dans le bulbe rachidien, sans que cela entraîne de conséquences chirurgicales. Les électrodes ont été implantées en laboratoire sur des rats, chats, singes et aussi sur des espèces moins étudiées comme le criquet, le coq, le dauphin ou le taureau.

## *Implantation d'électrodes dans le cerveau humain*

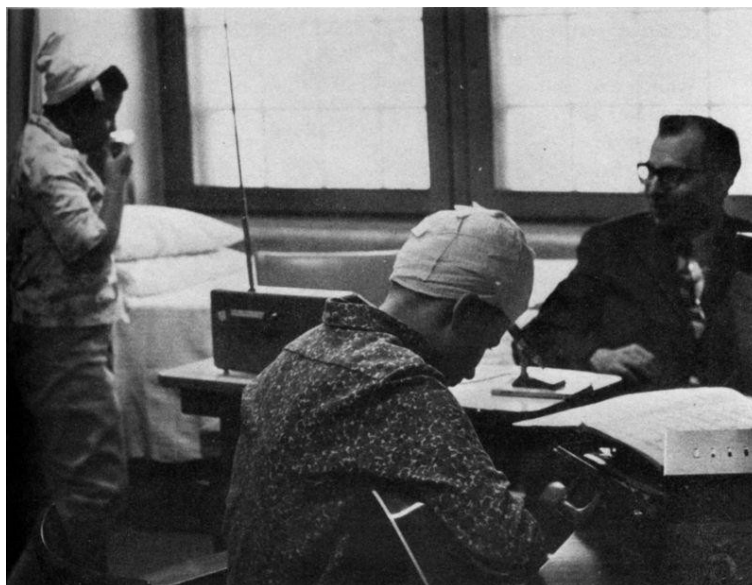
La connaissance actuelle du système nerveux central est constituée principalement par des recherches sur des animaux. L'expérience a montré que les questions que nous pouvons nous poser concernant par exemple la tolérance biologique du tissu neuronal aux électrodes, trouvent une réponse dans les études sur le chat ou d'autres animaux moins évolués. Certains phénomènes électrochimiques concernant la conduction neuronale peuvent être analysés avec autant de validité chez le calamar que chez les mammifères et pour certaines études concernant la mémoire la pieuvre s'est révélée comme un très bon sujet. Le rat a été – et il est toujours – l'animal préféré par les chercheurs en psychologie car il est petit et peu coûteux et peut donc être utilisé en grand nombre pour fournir des résultats dont on peut tirer des statistiques. Néanmoins, le répertoire de comportement limité des animaux peu évolués, ne peut pas être comparé à celui des activités complexes des singes et gorilles. Ces espèces, qui sont les plus proches de l'homme, sont plus appropriées pour l'étude neuro-psychologique de comportements intelligents, et lorsque nous voulons étudier les fonctions les plus élaborées du cerveau, qui implique la communication parlée, il n'y a pas de substitut à l'homme.

Le cerveau humain, comme d'autres organes, peut subir un accident traumatique, une dégradation, une maladie et il a souvent été nécessaire d'explorer la zone atteinte dans le but d'identifier les structures, vérifier la normalité des tissus, faire des tests d'excitabilité et connaître la localisation des fonctions importantes à ne pas atteindre lors d'une intervention chirurgicale. La participation consciente du patient était nécessaire pour certaines de ces explorations, par exemple dans le but de s'assurer si une crise d'épilepsie peut être déclenchée par la stimulation d'une zone précise du cortex, qui peut ensuite être enlevée par la chirurgie. Dans ce type d'exploration le cerveau était rendu accessible sous anesthésie locale. C'était une opportunité exceptionnelle d'étudier les réponses comportementales et psychologiques après stimulation électrique sur un sujet éveillé. Les travaux les plus importants dans ce domaine ont été réalisés par Penfield et ses collègues à Montréal (174). D'autres chercheurs ont réalisé un nombre considérable d'études du même (2, 8, 97, 163, 215).

Néanmoins, l'exploration d'un cerveau « ouvert » a des limites évidentes. L'opération chirurgicale ne doit pas être trop longue. Les électrodes sont tenues en place à la main, et la pression avec laquelle elles sont appliquées est donc variable. Le cerveau ouvert est exposé à un risque de traumatisme de cause thermique, mécanique ou chimique. Les zones corticales sont identifiées uniquement de manière visuelle. Le stress du patient qui subit une telle opération a des répercussions difficiles à contrôler. La plupart de ces inconvénients peuvent être évités en utilisant des électrodes implantées et considérant la connaissance accumulée sur les animaux, il est apparu évident à certains chercheurs d'utiliser cette méthode sur des patients humains dans un but de diagnostic et de thérapie (19, 59, 98). Les neurochirurgiens avaient déjà prouvé que le système nerveux n'est pas aussi fragile que la plupart des personnes le croient et lors des opérations de chirurgie des parties du cerveau ont été coupées, congelées, cautérisées ou enlevées avec des effets secondaires négligeables. L'exploration des ventricules cérébraux grâce à une aiguille est bien connue et relativement sûre, donc si l'on considère que les électrodes ont un diamètre inférieur à celui des aiguilles, on en conclut que leur introduction dans le cerveau doit être encore moins traumatisante. L'expérience a confirmé la sûreté et l'utilité à long terme de l'implantation d'électrodes dans le cerveau humain, et cette procédure a été utilisée dans des services médicaux spécialisés dans le monde entier afin d'aider des milliers de patients souffrant d'épilepsie, de mouvements involontaires, de douleur non traitable, de névrose d'anxiété et d'autres perturbations cérébrales. En général on place plusieurs groupes d'électrodes avec un nombre de 20 à 40 points de contacts à la surface ou dans les profondeurs du cerveau, avec un connecteur scellé à la surface de la tête et protégé par un petit pansement (à voir illustration 4). Dans certains cas les électrodes sont restées en place pendant presque 2 ans avec une bonne tolérance.

Laisser à demeure des fils électriques dans un cerveau vivant peut apparaître déplaisant et dangereux, mais en réalité les nombreux patients qui ont subi cette expérience ne se sont pas senti concernés par le fait d'avoir été « branchés », et aucun manque de confort à cause de la présence des fils dans leur tête. Certaines femmes ont fait preuve de leur adaptabilité aux circonstances en revêtant de jolis chapeaux ou des bonnets afin de dissimuler leur équipement électrique et beaucoup de personnes ont pu avoir une vie normale en tant que patient externe qui venaient régulièrement à la clinique pour se faire examiner et stimuler. Dans quelques cas les contacts étaient placés dans des zones du plaisir. Les patients ont ainsi eu l'opportunité de s'auto-stimuler en appuyant sur le bouton situé sur un équipement portable et il a été conclu que cela leur faisait du bien.

L'implantation chronique d'électrodes permet des explorations à caractère de diagnostic précise, sans limite de durée et l'excitation électrique répétée ou la coagulation bien contrôlée peut être précisément dosée selon les réactions du patient. En plus, d'importantes informations concernant les corrélations psycho-physiologiques offrent une connaissance immédiate des mécanismes cérébraux fondamentaux du comportement humain. Dans nos expériences (60, 109, 150) nous avons privilégié la méthode de l'entretien avec le patient pour obtenir une source constante de données verbales et comportementales. Nous avons enregistré sur bande de conversation entre le thérapeute et le patient tout en enregistrant l'activité électrique mesurée sur 8 paires d'électrodes. Nous avons aussi pris des notes concernant le comportement du patient. Pendant l'entretien, le cerveau était stimulé pendant 5 secondes toutes les 2 ou 3 minutes et les points de contact principaux étaient étudiés plusieurs fois.

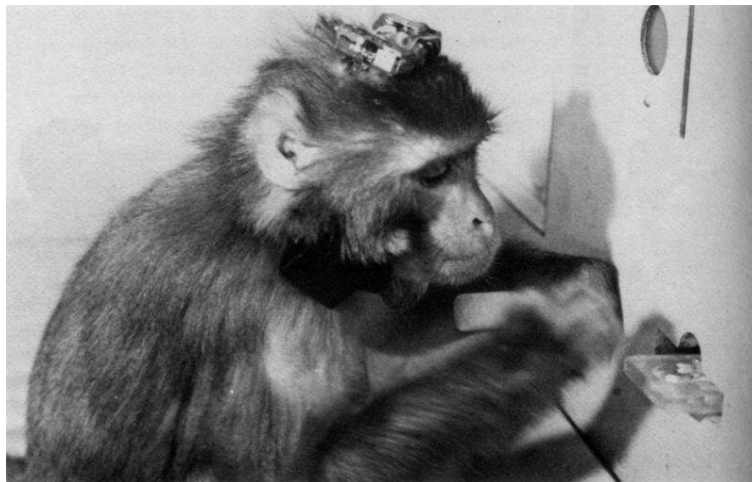


*Illustration 4: Deux filles qui souffraient de crises d'épilepsie et de troubles du comportement nécessitant l'implantation d'électrodes dans le cerveau dans un but diagnostique et thérapeutique. Sous le capuchon chacune des patientes porte un stimoceiver utilisé pour stimuler le cerveau par radio et pour transmettre les signaux d'activité électrique du cerveau alors que les patientes sont totalement libres de leur déplacements dans l'enceinte de l'hôpital (60). Un exemple d'enregistrement de l'activité électrique est présenté sur l'illustration 17.*

### *Communication bi-directionnelle avec le cerveau*

L'électronique a atteint un niveau de sophistication tel que la communication bi-directionnelle avec les automobiles, les avions et les véhicules spatiaux est aujourd'hui banale. Le retard significatif concernant la communication avec le cerveau est un signe du développement déséquilibré de notre civilisation basée sur la technologie, qui semble plus préoccupée par l'accumulation du pouvoir que par la compréhension de la manipulation des mécanismes fondamentaux de l'esprit humain.

Ce retard est en court d'être comblé. Les figures 4 et 5 montrent qu'il est d'ores et déjà possible d'équiper des animaux ou des êtres humains avec des équipements de petite taille, nommés « stimoceiver » pour émettre et recevoir des signaux électriques vers et depuis le cerveau de patient totalement libres.



*Illustration 5: Un singe équipé de 28 électrodes, un système de télémétrie à deux canaux sur le haut de la tête, et 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 méthodologie, les fonctions du cerveau peuvent être explorées à distance sans perturber le comportement sous observation.*

La miniaturisation des composants électroniques permet de contrôler tous les paramètres de la stimulation par radio de plusieurs points dans le cerveau ainsi que d'enregistrer à distance trois points d'activité électrique intra-cérébrale. Chez les animaux, le stimoceiver peut être ancré sur le crâne et il est possible d'étudier plusieurs membres d'une colonie sans perturber leurs inter-relations spontanées. Un comportement tel que l'agressivité peut être induit ou inhibé. Chez les humains il est possible de fixer le stimoceiver sur la tête grâce à un bandage et ainsi de stimuler électriquement et de monitorer l'activité intra-cérébrale sans gêner les activités de l'individu.

Les stimoceivers offrent de belles perspectives d'investigation, diagnostique et thérapie des perturbations d'origine cérébrales chez l'homme. Les premiers résultats concernant des patients ayant connu une attaque dans le lobe temporal (voir illustration 4) ont démontré les avantages de cette méthode par rapport à d'autres (60): 1) L'examen du patient ne nécessite que de brancher le stimoceiver au connecteur situé sur sa tête. 2) L'activité spontanée du patient et ses rapports sociaux ne sont pas gênés. 3) Le sujet est sous une supervision médicale permanente, la stimulation et les enregistrements peuvent se dérouler jour et nuit. 4) Les expériences sont menées pendant la vie

sociale du patient dans l'environnement de l'hôpital sans complications dues à une anxiété ou un stress. 5) Le cerveau de patients gravement perturbés peut être étudié sans avoir à le confiner dans une salle d'enregistrement 6) Etant donné qu'il n'y a plus besoin de câble de connexion, il n'y a pas de risque de faire bouger les électrodes lors d'un comportement anormal. 7° La stimulation du cerveau à but thérapeutique peut être prolongée aussi longtemps que nécessaire.

Il est raisonnable de penser, que dans un futur proche, le stimoceiver pourrait être le principal mode de liaison entre l'homme et l'ordinateur, avec un échange d'information dans les deux sens entre les neurones et l'équipement ce qui représente un nouveau genre de contrôle médical des fonctions neurophysiologiques. Par exemple on peut concevoir que l'on puisse mesurer une activité électrique anormale dans une zone précise du cerveau, annonçant l'imminence d'une crise d'épilepsie. Les données seraient transmises à distance vers une salle technique ou elles seraient enregistrées et analysées par un ordinateur capable de reconnaître des formes anormales de signaux électriques. L'identification de formes spécifiques pourrait déclencher l'émission de signaux radio pour activer le stimoceiver placé sur le patient et appliquer une stimulation électrique à une zone inhibitrice du cerveau, ceci empêchant le déclenchement de l'épisode convulsif.

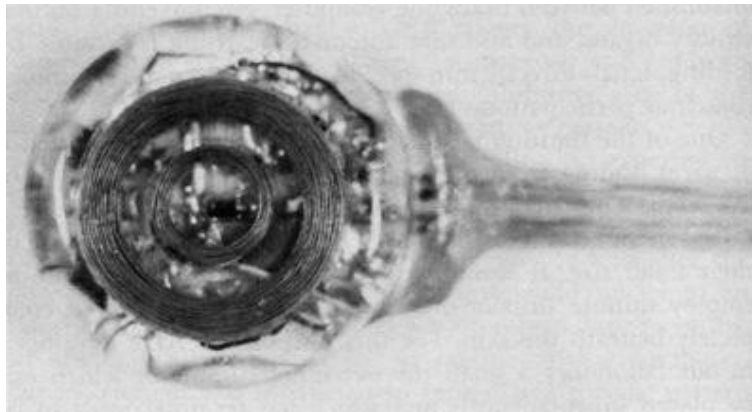
Ces spéculations s'appuient sur les expériences suivantes réalisées en collaboration avec les docteurs Johnston, Wallace et Bradley, en juin 1969. Le chimpanzé Paddy (illustration 3), en liberté dans sa cage, était équipé d'un stimoceiver pour enregistrer à distance l'activité de son complexe amygdalien. Dans une salle adjacente les signaux étaient reçus, enregistrés et analysés de manière automatique par un ordinateur analogique. Cette machine avait été acquise pour reconnaître une formes spécifiques d'ondes, constituée d'une série « explosive » de pics d'activité, normalement présente dans les deux noyaux amygdaliens pendant environ une seconde toutes les minutes. L'ordinateur devait aussi déclencher une stimulation dans un point précis de la zone réticulaire de Paddy, connu pour avoir un effet de renforcement négatif, à chaque fois que la forme d'onde était reconnue. Il s'agissait donc de commander la stimulation d'une structure cérébrale en fonction de l'apparition d'une forme d'onde EEG spécifique reconnue dans une autre structure cérébrale, l'ensemble du processus de mesure, identification et commande étant piloté par l'ordinateur.

Les résultats ont montré qu'environ deux heures après avoir commencé ce processus de stimulation en retour, l'émission des pics d'activité par les noyaux amygdaliens était réduite de 50% et si jours plus tard, après une expérience de deux heures par jour, le nombre de pics d'activité avait été réduite à seulement 1% de leur nombre à l'origine. D'autre part le chimpanzé était plus calme, moins attentif et moins intéressé lors des tests de comportement, bien qu'il pouvait toujours effectuer des tâches de reconnaissance d'odeurs et de reconnaissance visuelle sans faire d'erreurs.

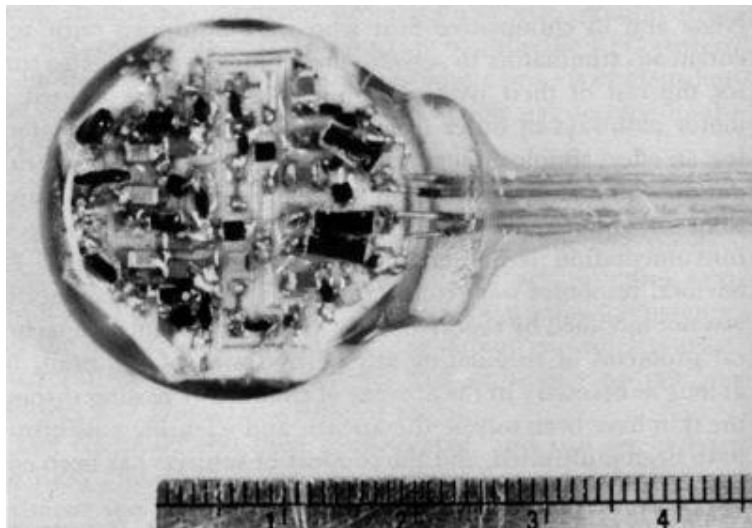
L'EEG de Paddy redevint normale deux semaines après que l'expérience prit fin. Des résultats identiques furent obtenus lorsque cette expérience fut répétée plusieurs fois. Ceci permet d'affirmer qu'une communication directe entre le cerveau et l'ordinateur, outrepassant les organes des sens, est possible et qu'il est aussi possible de créer une forme automatisée d'apprentissage en alimentant des signaux directement dans des zones neuronales spécifiques sans nécessiter la participation consciente du patient.

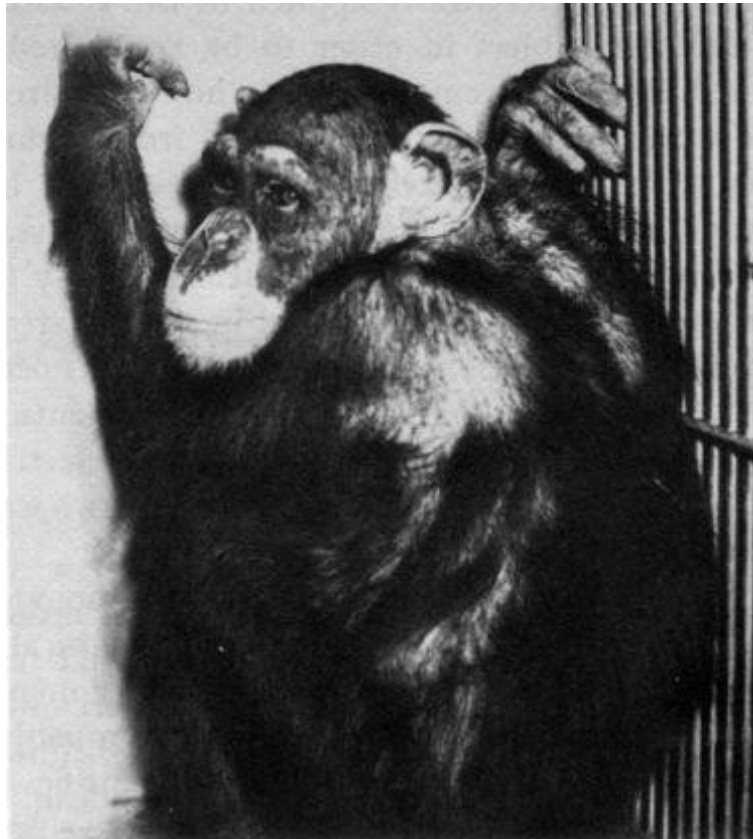
La présence de fils entre le cerveau et le stimoceiver situé sur le crâne du patient est pourtant un des facteurs limitant dans ces expériences. Les fils sont une porte d'infection possible et pourraient gêner l'épouillage, malgré leur petite taille. Il serait évidemment très préférable d'utiliser un équipement microscopique totalement implanté sous la surface du scalp. Nous avons donc

développé dans nos laboratoires un petit stimulateur à 3 canaux qui peut être placé sous la peau. Il comporte des connecteurs qui sont implantés dans le cerveau (illustration 6). Cet équipement à semi-conducteurs n'a pas besoin de pile pour fonctionner indéfiniment. La source d'énergie, les paramètres de stimulation et le choix des canaux sont induit par un couplage sans contact, à travers la peau, grâce à un petit électroaimant activé par des signaux radio modulés en fréquence (fm). En février 1969 l'utilisation de cet équipement a débuté sur le singe Nona et le chimpanzé Suzi. Ils étaient équipés de ce stimulateur sous cutané dans le but d'activer leur cerveau de temps en temps tout au long de leur vie. Les contacts étaient implantés dans des zones de communication motrice dans le but d'induire une flexion de leur jambe, ce qui est un effet suffisamment simple pour être observé et quantifié facilement. L'observation de Nona et Suzi ainsi que des études préliminaires effectuées sur d'autres animaux ont montré que l'utilisation de cet équipement sous cutané est efficace, fiable et bien toléré. Les réponses comportementales sont cohérentes et l'excitabilité motrice n'a pas varié du fait de la répétition de l'expérience. Ceci a donc résolu le problème de pouvoir stimuler une zone cérébrale sans avoir à traverser la peau et sans limite de durée. Les possibilités de recherche et de thérapie ont été multipliées et le confort du sujet a été nettement amélioré.



*Illustration 6: Les deux côtés d'un stimulateur trans-dermique à trois canaux. Cet équipement n'a pas de pile, est activé par radio et peut être utilisé à vie, de manière à ce que le cerveau soit stimulé indéfiniment. Le chimpanzé Suzie (droite) a deux stimulateurs (6 canaux) implantés sous la peau de son dos.*





Le progrès suivant sera de combiner la stimulation du cerveau et la mesure à distance de l'EEG, en s'affranchissant de la peau. Dans ce cas le stimoceiver ne sera pas situé à la surface de la peau, comme c'était le cas sur Paddy (illustration 3), et il ne s'agira pas seulement de stimuler le cerveau, comme dans le cas de Nona et Suzi (illustration 6): tout l'équipement sera implanté sous la peau. Cette technologie de communication directe entre un ordinateur et un cerveau, en préservant la peau est presque achevée et ces conséquences sont difficiles à prévoir. Dans le passé le progrès des civilisations a fantastiquement augmenté nos capacités de perception, notre force musculaire et nos compétences. Nous ajoutons maintenant une nouvelle dimension: la connexion directe entre le cerveau et les machines. Bien que cette affirmation soit une réalité, elle est peut être trop impressionnante, et nécessite une clarification. Notre connaissance actuelle du codage des informations, des mécanismes de perception et des bases neurologiques du comportement sont tellement basiques qu'il est très improbable que nous puissions corréler des mesures de courant électrique en rapport avec des pensées ou des émotions, les capter, les transmettre et ensuite les appliquer à un autre individu dans le but d'identifier et de déclencher les mêmes pensées et les mêmes émotions. Il est néanmoins déjà possible d'induire une palette de réponses, que ce soit des mouvements, des réactions émotionnelles et intellectuelles par stimulation électrique du cerveau. Plusieurs expérimentateurs (ou des ordinateurs) ont aussi appris à identifier des formes d'ondes d'activité électrique localisées dans des zones particulières du cerveau en rapport avec des phénomènes comme la perception des odeurs ou la perception visuelle des formes et des mouvements. Nous avançons rapidement dans la reconnaissance de la corrélation entre l'activité électrique et le comportement en utilisant la technologie de communication radio à double sens entre le cerveau et l'ordinateur.

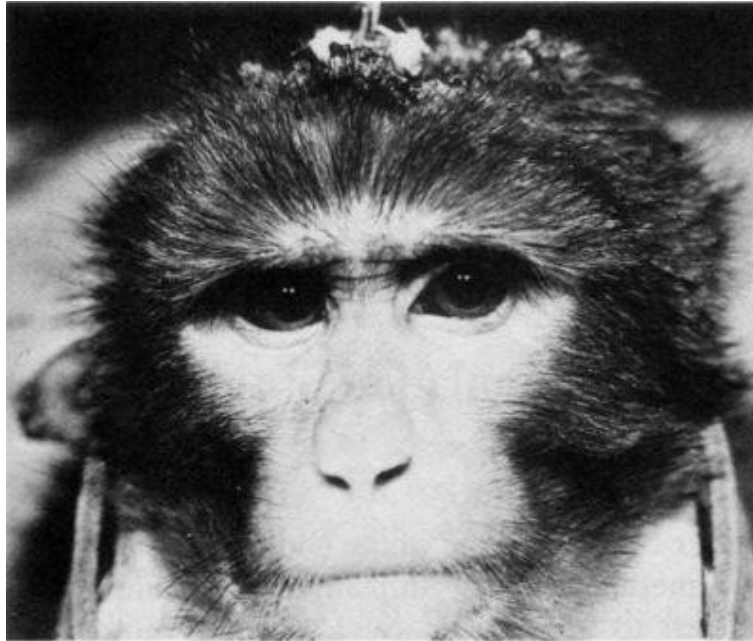
Certains ont exprimé la crainte que ces nouvelles technologies puisse permettre un contrôle immoral et non désiré de l'activité mentale de certains hommes par d'autres hommes. Comme il sera discuté ci-après, ce danger est plutôt improbable et doit être mis en balance avec le bénéfice attendu

au point de vue scientifique et clinique. L'évolution et la miniaturisation de l'électronique ont tellement progressé que les limites de ces expériences sont biologiques plutôt que technologiques. Nous avons surtout besoin de plus de données expérimentales concernant les processus mentaux et comportementaux et les expériences sur des sujets libres de leur mouvement promet d'amener à la compréhension du fonctionnement normal du cerveau et à la thérapie des cerveaux qui fonctionnent anormalement.

## Chapitre 12 – Stimulation électrique du cerveau

C'est dans le cerveau que se situe le centre de commandement de l'ensemble du corps. La technologie d'implantation d'électrode dans le cerveau permet donc d'avoir un accès direct aux centres qui commandent la plupart des fonctions du corps. Le cerveau est aussi le support matériel des fonctions mentales et l'exploration des neurones offre la possibilité d'expériences pouvant expliquer le rapport entre le cerveau et le mental. La technique des électrodes implantées permet d'obtenir des réponses à ces questions, mais elle ouvre aussi de nouvelles interrogations: Est-il possible d'induire des comportements « robotisés » chez l'animal et chez l'homme, simplement en appuyant sur le bouton d'un stimulateur cérébral fonctionnant par radio? Les instincts, les désirs et les pensées peuvent-ils être placés sous le commandement artificiel d'un système électronique? La personnalité peut-elle être influencée par SEC? L'esprit peut-il être contrôlé de manière matérielle?

La littérature scientifique présente déjà une quantité substantielle d'informations concernant les effets induits par SEC. Par exemple, le cœur peut être arrêté pendant l'intervalle de quelques battements, ralenti ou accéléré par une stimulation adaptée de certaines structures corticales et sous-corticales. Ceci illustre bien que c'est le cerveau qui contrôle le cœur et non pas le contraire. Le rythme et l'amplitude de la respiration ont été commandés par SEC. La sécrétion et les mouvements gastriques aussi. Le diamètre de la pupille peut être ajusté à volonté (illustration 7), entre sa contraction maximale et sa dilatation maximale, comme s'il s'agissait d'un obturateur d'appareil photo, en tournant simplement le bouton commandant l'intensité de la stimulation électrique appliquée dans la région de l'hypothalamus (61). La plupart des fonctions viscérales ont été modifiées par SEC, de même que les perceptions sensorielles, l'activité motrice et les fonctions mentales. Plutôt que d'examiner chacune de ces expériences en détail, nous avons choisi de présenter quelques exemples typiques illustrant les principales applications de la stimulation électrique du cerveau et ces effets comportementaux.



*Illustration 7: Le diamètre de la pupille peut être contrôlé électriquement comme s'il s'agissait du diaphragme d'un appareil photographique. Ci-dessus l'oeil normal, et ci-dessous, la contraction de la pupille droite induite par stimulation de l'hypothalamus. Certains effets de la SEC tels que celui-ci n'entraînent pas de fatigue et peuvent être maintenus pendant des jours, tant que la stimulation est appliquée (61).*



## Chapitre 13 – Effets moteurs

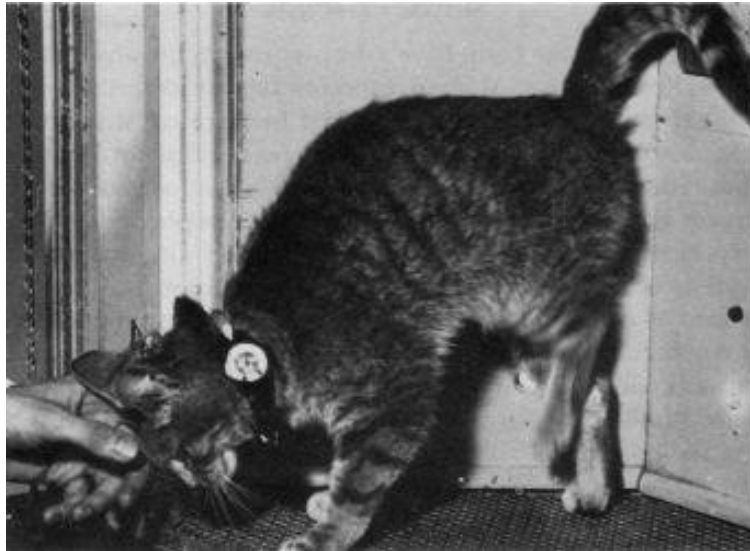
Le comportement découle d'activités motrices qui vont d'une simple contraction musculaire à la création d'une oeuvre d'art. Si nous considérons les compétences nécessaires pour construire un nid, pour les stratégies de combat des animaux, ou jouer du piano, il est évident que ces activités sont non seulement le résultat des processus physiques et chimiques de la contraction musculaire mais surtout de la mise en oeuvre consciente de commandes cérébrales complexes.

Nous connaissons mal le fonctionnement des actes volontaires, le rapport entre le but et la performance réalisée, et la manière dont la contraction des muscles est organisée dans le temps et dans l'espace. Néanmoins nous avons maintenant, grâce à la méthode présentée, les moyens d'obtenir les réponses à ces questions. Le fait que la SEC peut induire des mouvements simples a été découvert au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle et aujourd'hui nous savons que les zones cérébrales responsables des mouvements sont principalement localisées dans le lobe pariétal. La stimulation de cette zone induit des mouvements dans la partie opposée du corps, alors que sa destruction induit la paralysie. Ces résultats ont donné lieu à l'établissement d'une carte représentant les zones du cerveau commandant les mouvements. Elles forment comme un « homoncule » reposant face contre terre dans le cortex pariétal, avec un grand visage et un grand pouce. C'est comme la caricature d'un homme miniature responsable des mouvements. Cette représentation est en partie responsable de l'affirmation que le cortex est le suprême et intelligent organisateur du comportement.

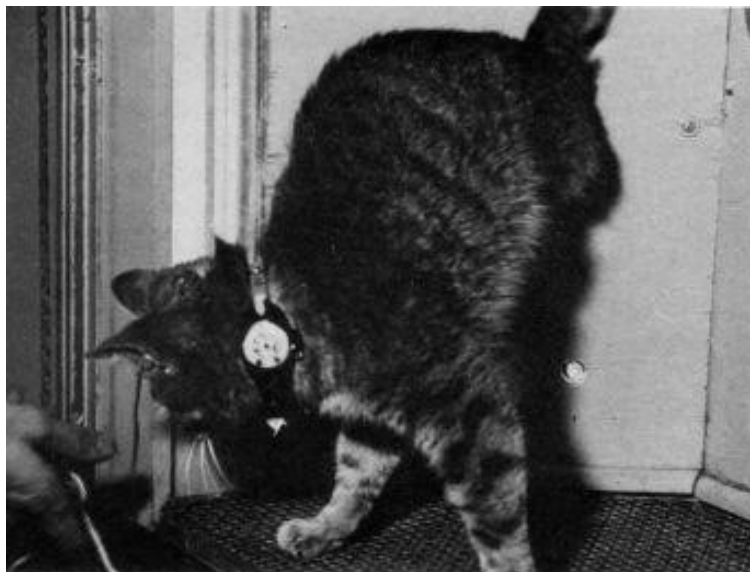
Néanmoins, des recherches plus poussées ont démontré que les mouvements induits à partir de ces zones sont plutôt grossiers et que d'autres zones situées dans les profondeurs du cerveau jouent un rôle décisif dans le pilotage de mouvements précis. La conception actuelle est que le cortex ne doit pas être considéré comme la structure la plus importante dans la hiérarchie du système moteur ni même le centre d'origine des impulsions motrices, mais plutôt comme un relai, un site de plus par lequel transitent les boucles d'informations qui sont corrélées aux informations sensorielles. La multiplicité et la complexité de l'élaboration des mouvements est logique si l'on considère la fantastique variété de comportements, qui sont les seuls moyens d'interaction entre l'individu et son environnement. Cette relation à l'environnement nécessite la coordination spatio-temporelle précise de nombreuses structures fonctionnelles traitant un grand nombre d'informations pour ajuster et guider les mouvements, et capable de s'adapter instantanément à un changement de contexte. On a déduit de la complexité de ces mécanismes que la SEC ne pourrait jamais induire des actes précis et utiles. Mais le fait surprenant est que la SEC peut, en fonction de l'endroit où elle est appliquée, induire non seulement des actes simples mais aussi des comportements complexes et bien organisés, qui sont à distinguer des actes spontanés.

### *Activation motrice chez les animaux*

L'expérience classique au cours des études de médecine consiste à anesthésier un lapin ou un autre petit mammifère, et d'ouvrir la boîte crânienne pour stimuler le cortex moteur. On peut ainsi induire des actes simples, comme l'extension d'un membre. Les actes induits impliquent en général un petit groupe musculaire. Ils sont stéréotypés et ne peuvent être adaptés, mais néanmoins les étudiants sont habituellement impressionnés de voir les mouvements de l'animal commandés par l'homme. L'expérience est autrement plus impressionnante lorsque l'animal totalement conscient est équipé d'électrodes implantées dans le cerveau. Ces actes apparaissent plus naturels et nous pouvons alors étudier les influences mutuelles de ses mouvements spontanés et des mouvements induits.



*Illustration 8: La stimulation électrique du cortex moteur droit provoque une flexion de la patte arrière gauche proportionnelle à l'intensité de la stimulation électrique utilisée. Observez l'adaptation harmonieuse de la posture de l'animal au mouvement induit, et l'absence de perturbations émotionnelles. Pendant ces expériences le chat était alerte et amical comme à son habitude, ronronnant et cherchant à se faire gâter.*



La stimulation électrique de la partie droite du cortex moteur d'un chat provoque une flexion de sa patte arrière droite dont l'amplitude est proportionnelle à l'intensité appliquée. Ceci a été constaté lors d'une expérience faite sur un chat se tenant sur ces quatre pattes: la stimulation d'une intensité de 1,2 milliampères provoque tout juste un décolllement de la patte par rapport au sol. A 1,5 milliampères la patte se lève d'environ 4 cm et à 1,8 milliampères, la flexion est totale! (illustration 8) Le mouvement induit commence lentement, se développe régulièrement, atteint son maximum après environ 2 secondes et dure tant que la stimulation est appliquée. Cette action a pu être répétée autant de fois que voulu et s'accompagnait d'un ajustement de la posture globale du corps, incluant, un abaissement de la tête, une élévation du pelvis et un léger déplacement du poids vers la gauche dans le but de maintenir l'équilibre sur trois pattes. La stimulation électrique n'a pas entraîné de

perturbation émotionnelle et le chat était normalement vif et amical, et il se frottait à l'expérimentateur, ronronnait, cherchait à être caressé.

Néanmoins, si nous essayions d'empêcher l'effet de la stimulation en retenant la jambe gauche à la main, le chat s'arrêtait de ronronner, luttait pour se dégager et secouait sa jambe. Apparemment la mobilité induite n'était pas dérangeante alors que le fait de tenter d'empêcher ce mouvement gênait l'animal. Ceci suggère que la stimulation n'entraînait pas un simple mouvement mais aussi le désir pour le chat de faire bouger sa jambe et il coopérait spontanément avec la commande de l'impulsion électrique, en ajustant sa posture avant de fléchir la jambe. En cas de conflit entre le mouvement spontané du chat et celui induit par l'expérimentateur, la résultante dépend des forces d'excitation relative des deux signaux qui s'opposent. Par exemple, si le chat est en train de marcher, une intensité de 1,2 milliampères n'induisait pas de modification apparente de la marche. S'il était stimulé alors qu'il sautait d'une table, une intensité jusqu'à 1,5 milliampères, qui normalement induit une flexion nette était pratiquement sans effet. L'activité physiologique spontanée semblait dépasser l'excitation artificielle et le chat atterrissait parfaitement, avec des mouvements coordonnés. Si l'intensité était augmentée à 2 milliampères, les effets de la stimulation artificielle était plus forts que le mouvement volontaire: la jambe commençait à fléchir pendant le saut, la coordination de mouvements interrompue et le chat atterrissait mal. Une expérience similaire est décrite sur des singes. La stimulation des zones motrices d'un hémisphère induit des mouvements dans les membres de la partie opposée, du même type que ceux présentés ci-avant sur le chat. L'animal stimulé ne montre pas de signe de peur ou d'hostilité (illustration 9), et il n'arrête pas spontanément son activité en cours, par exemple lorsqu'il marche, grimpe ou mange. Les mouvements spontanés et induits s'influencent mutuellement et le résultat final est une combinaison des deux.

La stimulation simultanée de deux endroits du cerveau ayant des effets opposés peut ne produire aucun effet. Les deux signaux se compensent. Par exemple si l'excitation d'un point de contact dans le cerveau d'un singe produit une rotation de la tête vers la droite et la stimulation d'un autre point produit une stimulation vers la gauche, le singe ne tourne pas la tête lorsque les deux zones sont stimulées en même temps. Cet équilibre a été maintenu à plusieurs niveaux d'intensité électrique.



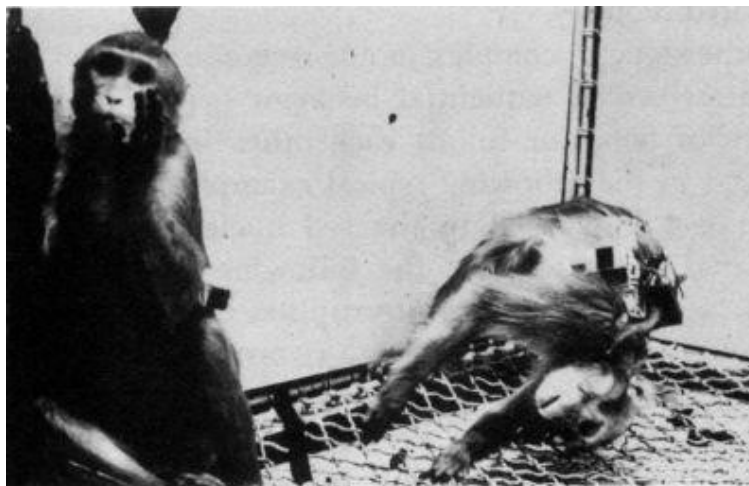
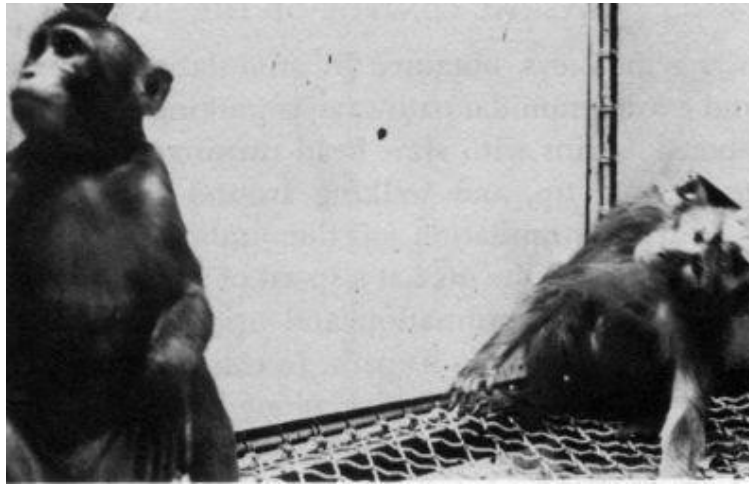
*Illustration 9: La stimulation du lobe temporal induit une ouverture de la bouche et un mouvement de fatigue du bras sans signes de peur ou d'hostilité (49).*

La stimulation de zones précise du cerveau a permis d'induire la plupart des mouvements simple observés dans le comportement spontané. Ceci inclut le froncement de sourcils, l'ouverture et la fermeture des yeux, l'ouverture, la fermeture et l'orientation de la bouche, les mouvements de la langue, la mastication, les contractions de la face, les mouvements des oreilles, les rotations, flexions et extensions de la tête et du corps et des mouvements de jambes, bras et doigts. Nous en concluons que le plupart sinon tous les mouvements simples existants peuvent être induits par stimulation du cerveau. Des réactions anormales, pertes d'équilibre (voir illustration 10) et des convulsions épileptiques ont aussi été engendrées, en fonction de la zone cérébrale stimulée et des paramètres de la stimulation.

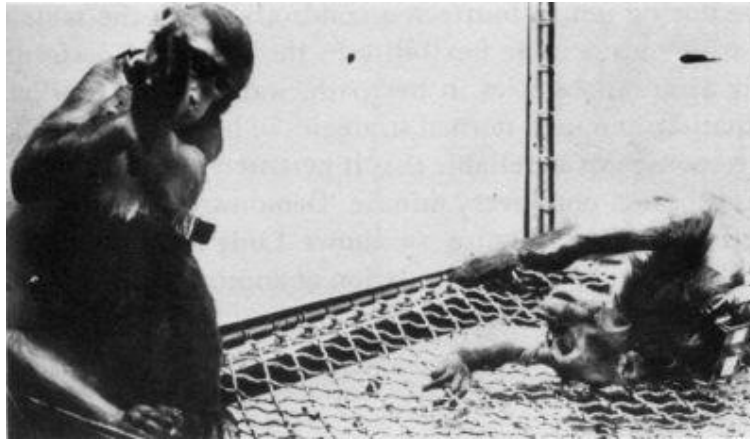
Si nous nous intéressons maintenant à des activités plus complexes, nous devons comprendre que les activités normales chez les animaux et les hommes, impliquent une succession d'actes bien coordonnés dans l'espace et le temps. La marche, par exemple, est un déplacement du corps grâce à l'alternance de flexions et d'extensions dans les membres, qui nécessitent un contrôle précis de la force, l'amplitude, et la vitesse de la contraction de plusieurs groupes de muscles avec des durées très précises et une coordination mutuelle. De plus une adaptation de la posture de la tête et du corps et des mouvements de correction sont nécessaires. Arriver à induire la marche chez un animal serait une expérience formidable, qui nécessiterait de connecter peut être deux muscles, l'utilisation d'un ordinateur évolué, d'un séquenceur, de nombreux transistors, de capteurs et l'aide d'une équipe de scientifiques et techniciens, en plus d'un animal coopératif et d'une bonne dose de chance. En fait la surprise vient du fait que l'utilisation d'impulsions électriques appliquées directement sur le cerveau peut activer des structures cérébrales qui ont la capacité complexe de commander la marche. Et cette marche apparaît avoir des caractéristiques normales.

Au cours d'une expérience, le singe Korn était assis dans la cage commune en train de ramasser de la nourriture lorsque son thalamus, qui est situé au centre du cerveau, a été stimulé par radio. L'animal s'est lentement levé et a commencé à marcher tout autour de la cage sur les quatre pattes avec une vitesse d'environ 1 mètre par seconde, sans se cogner aux murs ou contre d'autres

animaux. Sa marche était normale, sans signe d'anxiété, de peur ou de manque de confort. Après avoir été stimulé 5 à 6 secondes, l'animal s'est tranquillement assis et à recommencé à ramasser de la nourriture. Dès que la stimulation était appliquée de nouveau, Korn reprenait la marche dans la cage. Dans certaines expériences, cette effet a été répété jusqu'à 60 fois par heure.

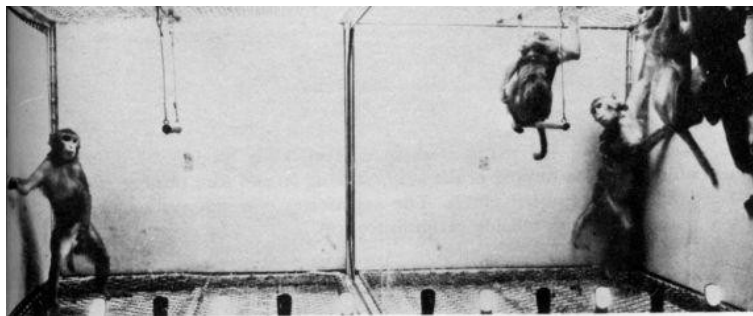


*Illustration 10: Rotation progressive du corps autour de son axe longitudinal avec une perte totale de l'équilibre induit par radio stimulation de zones spécifiques du cerveau (dans ce cas, le tectum)*



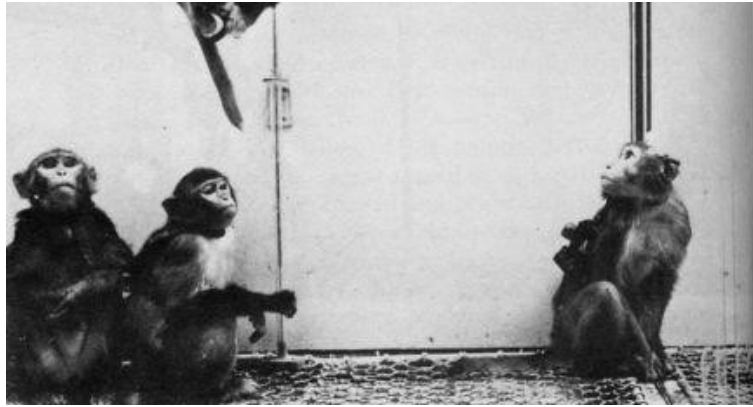
La vitesse et le type de mouvements induits dépend selon la structure cérébrale stimulée. L'effet le plus observé sur le chat et le singe, obtenu par stimulation des structures limbiques ou des voies extra-pyramidales est la marche en cercle. Habituellement l'effet commence par une lente rotation de la tête, suivi par la rotation du corps, puis l'animal se lève et marche tout autour de la cage. Lors d'autres expériences, concernant la stimulation des fimbriaes du fornix, un singe s'est mis à marcher à une vitesse de 2,4 mètres par secondes (presque 15 km/h), avec une excellente coordination et orientation, évitant les obstacles et les autres animaux sur sa route. Dans cette expérience (illustration 11) un autre singe du groupe a appris à appuyer sur un levier afin de déclencher la stimulation de l'animal test. La répétition de cette excitation a induit un comportement conditionné du singe test.

D'autres expériences ont permis d'induire des séquences complexes de comportements, qui s'enchaînent dans un ordre précis, comme dans l'exemple typique suivant. Le singe Ludy avait un contact implanté dans la structure dénommée « noyau rouge ». Lorsque ce point était stimulé pendant 5 secondes, les effets suivants étaient constatés (illustration 12) 1) arrêt immédiat de l'activité spontanée 2) changement d'expression faciale 3) rotation de la tête vers la droite 4) lever sur deux pattes 5) tournoiement vers la droite 6) marche parfaitement équilibrée sur deux pieds, en utilisant les deux bras pour maintenir l'équilibre de cette marche bipède 7) escalade d'un poteau 8) redescente au sol 9) émission d'un grognement 10) menaces et souvent attaque et morsure de singes dominés 11) fin de l'attitude agressive et retour amical vers le groupe 12) reprise tranquille de l'activité spontanée. Cette séquence complexe prenait au total 10 à 14 secondes, toujours dans le même ordre, mais avec des variations importantes dans les détails. Ludy évitait les obstacles sur son chemin, marchait parfaitement et utilisait ses stratégies habituelles de combat. Cette séquence était tellement constante qu'elle a été répétée 20 000 fois, toutes les minutes. D'autre part, la spécificité des effets induits en fonction de la zone stimulée a été montrée sur Ludy. L'illustration 13 montre un effet différent obtenu par stimulation d'un noyau rouge différent, situé à 3 millimètres du premier.

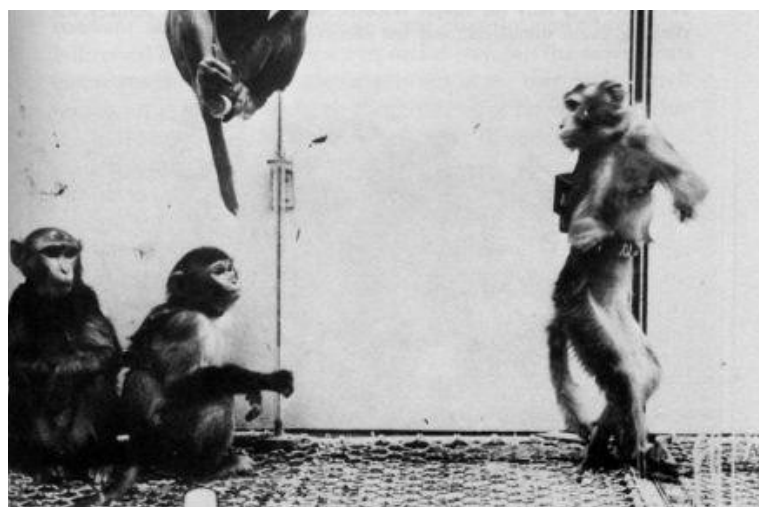
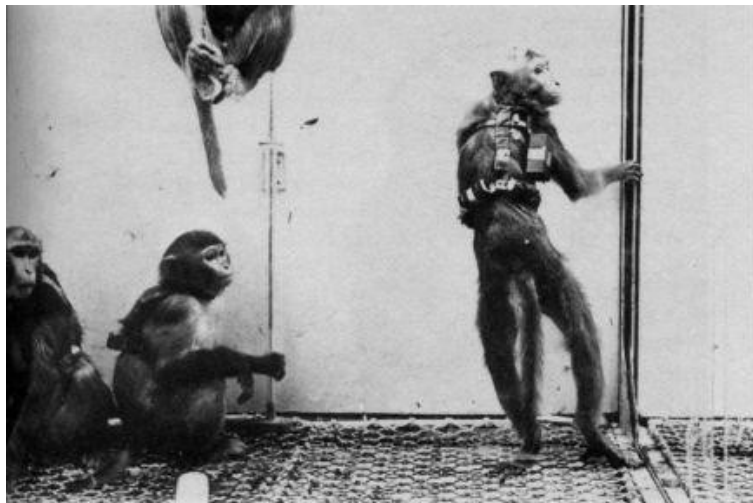


*Illustration 11: Le singe situé à gauche a appris à appuyer sur un levier situé dans la cage, qui déclenche la stimulation des fibres du fornix d'un autre singe. Ceci induit une course rapide avec une excellente coordination. La répétition de cet exercice à créé un conditionnement de l'animal stimulé, qui montre un état d'agitation et reste dans un coin de la cage prêt à courir dès que le premier singe s'approche du levier*



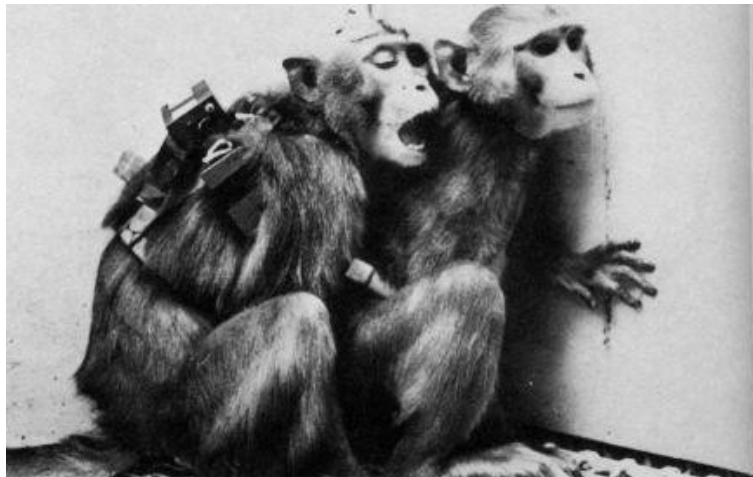


*Illustration 12: La stimulation du noyau rouge du singe Ludy à induit une réponse incluant la rotation de la tête, la marche bipède, le retournement et d'autres effets ordonnés en séquences. L'expérience a été répétée plus de 20000 fois de manière fiable (54).*





*Illustration 13: La radio-stimulation d'un autre noyau rouge de Ludy, situé à 3 millimètre du premier a seulement induit un bâillement. Si le singe dormait, la stimulation était moins efficace.*



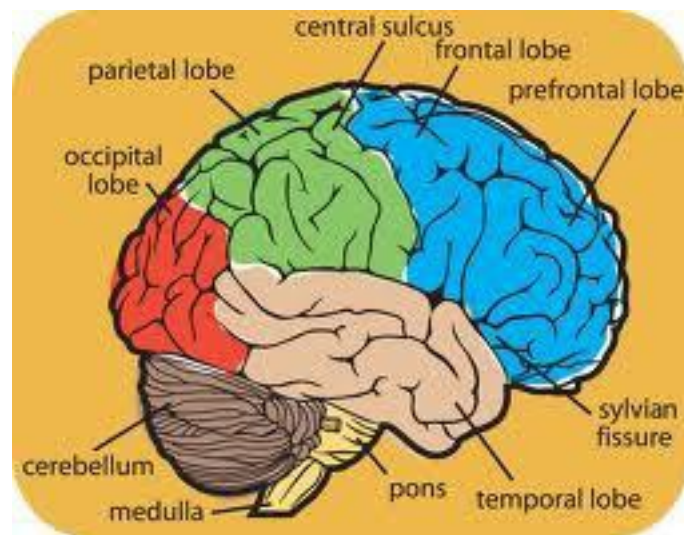
Ces expériences ont soulevé beaucoup de questions. Pourquoi Ludy se levait-elle sur des pattes? Pourquoi un tel enchaînement d'événements? Pourquoi devenait-elle agressive quelques secondes après la stimulation? D'autres études sont nécessaires pour comprendre ces phénomènes, mais le fait que des séquences similaires ont été induites sur d'autres singes indique qu'il s'agit de mécanismes spécifiques existant au niveau cérébral.

Si nous réétudions l'ensemble des réponses motrices qui ont été induites par SEC, nous devons noter:

- 1) un manque de prédictibilité lorsqu'un point dans le cerveau est stimulé pendant une durée fixe, nous ne pouvons pas prévoir les effets qui peuvent être induits. Lorsque la partie supérieure du cortex moteur est stimulée, il est très probable que la patte arrière de la partie opposée du corps va se contracter, mais nous ne pouvons pas prévoir ce mouvement dans le détail ni la participation d'autres muscles du corps, ni même savoir si le mouvement va affecter toute la jambe ou seulement le pied. Une fois l'effet engendré connu, de nouvelles stimulations donnent un résultat connu tant que les conditions de l'expérience restent constantes.

- 2) Un manque de sens: dans certains cas la réponse induite est contrôlée par l'animal d'une manière adaptée, mais en général les mouvements et séquences de mouvements induits sont hors de contexte. L'animal baille, fléchit la main, ou se met à marcher sans raison autre que la SEC. Il est important de faire la différence entre ces actes sans raisons du type de réponses que nous allons décrire ci-après, dans lesquelles les mouvements sont secondaires à une motivation induite par SEC.
- 3) Il ne s'agit pas de commander le corps comme un robot: la SEC active des structures cérébrales qui commandent des mouvements organisés, mais elle ne peut pas les remplacer. Dans l'état actuel de l'art il est très improbable que nous puissions diriger un animal pour qu'il réalise des tâches que nous lui assignerions comme l'ouverture d'une porte ou la manipulation d'un outil. Nous pouvons induire du plaisir ou punir et en conséquence motiver à appuyer sur un levier mais nous ne pouvons pas contrôler la séquence des mouvements nécessaires pour réaliser cet acte en l'absence de la volonté propre de l'animal de la réaliser. Comme il va être discuté ci-après, nous pouvons induire des états émotionnels qui peuvent motiver un animal à en attaquer un autre ou à s'échapper, mais nous ne pouvons pas synthétiser des séquences complexes.

### *Activation motrice chez l'homme*



L'effet le plus communément induit par SEC chez l'homme est une action simple telle que la contraction d'une extrémité. Cet effet est souvent accompagné d'un manque de contrôle volontaire des muscles impliqués, et se limite parfois à une paralysie locale sans autre symptôme observable. En général la réponse induite est simple, d'allure artificielle, sans objectif, et sans l'élégance d'un mouvement volontaire. Par exemple chez un de nos patients, la stimulation du cortex pariétal gauche par le biais d'électrodes a induit une flexion de la main droite, qui a commencé par la contraction des deux premiers doigts puis s'est étendue aux autres. Le poing est resté fermé pendant les 5 secondes restantes de stimulation. Cet effet n'était ni désagréable ni perturbant et avait lieu sans interrompre les activités courantes, le comportement et la conversation. Le patient se rendait compte du mouvement involontaire de sa main, mais il n'en était pas effrayé. C'est uniquement après l'avoir questionné qu'il commentait que son bras lui semblait « faible et engourdi ». Le patient ne pouvait pas empêcher volontairement le mouvement bien que l'on le prévienne de la stimulation imminente...

L'excitation d'autres zones motrices situées à proximité de la région principale du cortex moteur peut induire trois types d'effets (174):

- 1) Il peut y avoir un changement de posture, dans lequel le mouvement commence lentement pour atteindre un maximum et entraînant aussi un mouvement global du corps.
- 2) Les mouvements peuvent avoir un caractère répétitif, comme le battement de la main, le martèlement du pied ou la flexion et l'extension des doigts ou des poignets.
- 3) La réponse peut être constituée de mouvements non coordonnés. La SEC peut être utilisée pour faire bouger des membres paralysés. Par exemple, un patient souffrait de paralysie soudaine de la main et de la jambe gauche probablement à cause d'une embolie et après quatre années il commençait à ressentir une sensation de brûlure dans la partie gauche de son corps, qui était exacerbée par le contact sur son thorax ou son bras. Après l'échec d'autres thérapeutiques des parties du cortex sensorimoteur furent supprimées. Il fut alors observé que la SEC de l'aire motrice supplémentaire produisait la vocalisation, le levé du bras paralysé et d'autres réponses motrices. Ces résultats étaient similaires à ceux obtenus sur des patients non paralysés. Il est donc clair que l'aire motrice supplémentaire comporte des voies motrices indépendantes des voies motrices principales du cortex et que des mouvements induits sont possibles même lorsque l'intégrité des structures motrices principales du cortex est atteinte.

La SEC produit des effets similaires lorsqu'elle est appliquée sur des enfants ou des adultes, des travailleurs manuels ou des artistes de haut niveau. Les compétences et les mouvements précis ne semblent pas être déterminés par le cortex, en tout cas ils n'ont pas été excités par SEC. Le cortex moteur est probablement comparable à un grand clavier situé du côté « sortie » du cerveau et chargé de piloter les membres, capable d'activer les muscles et de produire des mouvements, mais nécessitant d'être sous le contrôle d'autres structures cérébrales qui sont encore peu connues.

Mais la SEC peut aussi induire des effets complexes. Par exemple, sur l'un de nos patients, la stimulation électrique du rostre du corps calleux a induit une rotation de la tête et un lent déplacement du corps sur les côtés, d'une manière bien coordonnée, comme si le patient était en train de chercher quelque chose. Cette stimulation a donné des résultats comparables lorsqu'elle a été répétée 6 fois pendant deux jours. Il est à noter que le patient ressentait l'effet induit comme spontané et donnait toujours une raison valable d'agir de la sorte. Lorsqu'on lui a demandé « Que faites-vous? », il répondait « Je cherche mes pantoufles », « J'ai entendu un bruit », « Je suis impatient », « Je regarde sous le lit » ... Dans ce cas il était difficile de déterminer si la stimulation avait induit un mouvement que le patient tentait de justifier ou bien si elle avait engendré une hallucination qui amenait le patient à se mouvoir pour explorer son environnement.

Il existe très peu de comptes-rendus de mouvements complexes induits par SEC, de type comparables à ceux observés chez les singes et cela semble indiquer que l'organisation mentale est moins stéréotypée chez l'homme que chez les animaux. Sur l'homme, la stimulation du lobe temporal a induit des automatismes, comme le fait de jouer avec les draps chirurgicaux, de se frotter les mains et des mouvements organisés, par exemple pour se lever de la table d'opération. Habituellement le patient ne s'est pas rappelé de ses automatismes. L'émission de sons et d'une parole compréhensible a parfois été induite, bien qu'elle soit due à une activation motrice et d'idéation. La vocalisation a été induite par la stimulation de la zone motrice dans le gyrus précentral, ainsi que de l'aire motrice supplémentaire dans les deux hémisphères. Il s'agissait habituellement d'un cri ininterrompu avec une articulation en voyelle et parfois quelques consonnes

(174).

## Chapitre 14 – Enfer et paradis dans le cerveau: le système de punition et de récompense

Lorsque l'homme a évolué bien plus que les autres animaux, la taille et la complexité de son cerveau ont augmentés, lui offrant une intelligence supérieure ainsi que plus d'angoisses, des peines plus profondes et une plus grande sensibilité. L'homme a aussi appris à jouir de la beauté, à rêver et à créer, à aimer et détester. Lors de l'éducation, comme lors du dressage des animaux, la punition et la récompense sont les plus forts moyens de motivation de l'apprentissage. Notre vie est orientée vers le plaisir et la réduction de la souffrance et nous attribuons souvent les sensations gratifiantes à l'environnement sans réaliser que la perception des sensations dépend d'une chaîne d'évènements qui culmine dans l'activation de mécanismes intra-cérébraux. Les blessures, la perte d'un enfant aimé ou les catastrophes n'engendrent pas de souffrance si certaines structures cérébrales ont été bloquées par anesthésie. Le plaisir n'est pas dans la caresse ou un estomac plein, mais quelque part sous la voûte crânienne.

De plus la douleur et le plaisir dépendent d'une part psychologique et culturelle importante. Certaines personnes ayant suivi un entraînement religieux pour supporter la douleur ou dans un état modifié de conscience ont été torturés à mort sans montrer de signes visibles de souffrance. Il est aussi connu qu'en absence de blessures, le mental peut interpréter des informations d'une manière qui engendre les pires souffrances. Le rejet social, les sentiments de culpabilité et d'autres tragédies personnelles peuvent produire plus de phénomènes automatiques, somatiques et psychologiques négatifs que la douleur physique.

Il y a une forte résistance à l'idée que des sentiments aussi élaborés que la peur ou l'amour dépendent de la dépolarisation des membranes de groupes précis de neurones, mais nous ne devons pas ignorer cet aspect des choses. Suite à une lobotomie pré-frontale, des patients cancéreux ont témoigné que la douleur leur semblait identique mais que leur évaluation subjective de cette douleur était nettement réduite et ils ne se plaignaient pas autant et ne sollicitaient pas autant de médicament qu'auparavant. Les patients lobotomisés réagissaient à des stimulus douloureux autant si ce n'est plus qu'avant leur opération. Ils sursautaient lorsqu'on les piquait et avaient une réponse rapide lorsqu'on testait leur réaction à la chaleur, mais ils semblaient moins concernés. Il semble qu'il y a dans les lobes pré-frontaux un mécanisme d'évaluation de la souffrance. Après la lobotomie, la sensation de la douleur n'est pas modifiée, mais la réaction à cette sensation est très diminuée. Ce mécanisme est plutôt spécifique aux lobes frontaux. La destruction bi-latérale des deux lobes n'a pas provoqué de baisse de la sensation de douleur.

Ceci soulève la question de savoir si d'autres structures cérébrales ont un rôle spécialisé dans l'analyse des sensations? Est ce que le codage des sensations au niveau des récepteurs est essentiel pour activer ces structures. Il n'y a pas si longtemps, beaucoup de scientifiques auraient considéré irréaliste le fait d'induire la punition ou la récompense en utilisant un système de stimulation électrique connecté directement au cerveau.

### *La perception de la douleur*

Dans les livres de référence et les publications scientifiques, les termes tels que « récepteurs de la douleur », « fibres vecteurs de la douleur » ou « voies de la douleur » sont fréquemment utilisés mais il devrait être clair que les nerfs périphériques ne transmettent pas de sensations. Les chemins neuronaux ne font que transmettre des formes d'ondes électriques qui portent un message qui est décodé dans le système nerveux central. En l'absence du cerveau, pas de douleur bien que certains réflexes moteurs sont encore présents. Une grenouille décapitée ne peut sentir mais sautera à une bonne distance avec une assez bonne coordination si on pince une de ses cuisses. Lors de l'épreuve sportive ou sur un champ de bataille, les émotions et le stress peuvent bloquer temporairement le sentiment de douleur et souvent les blessures ne sont pas remarquées immédiatement. L'interprétation cérébrale de signaux reçus des sens est tellement fondamentale qu'un même stimulus peut être considéré agréable ou désagréable selon les circonstances. Un chien est choqué par un fort choc électrique à la patte et il s'arrête de saliver. Néanmoins si l'on administre pendant plusieurs jours ce même choc « douloureux » en le faisant suivre d'une gâterie, l'animal accepte le choc, secoue la queue et salive en anticipation de sa petite récompense. Certains de ces chiens ont été entraînés à appuyer sur un levier afin de déclencher le choc électrique suivi de la distribution de nourriture. Chez l'homme, lors de l'acte sexuel, des morsures, égratignures et d'autres sensations potentiellement douloureuses sont souvent perçues comme agréables et certaines personnes déviantes cherchent à avoir du plaisir par la punition physique.

Il y a un paradoxe dans le fait que la peau et les viscères portent une grande quantité de terminaisons récepteurs de la douleur alors que le cerveau n'en possède pas. Sur les patients sous anesthésie locale, le cerveau peut être découpé, brûlé, arraché ou congelé sans que cela ne cause de gêne. Cette organe si insensible à sa propre destruction est pourtant le subtil récepteur des informations reçues de la périphérie. Chez les animaux évolués divers types de sensations sont reçues depuis des capteurs spécialisés, qui codent les informations en impulsions électriques, puis sont décodées par des systèmes d'analyse spécialisés pour donner tout leur sens aux perceptions.

La plupart des messages sensoriels transitent à travers les nerfs périphériques, les racines dorsales, la colonne vertébrale et la moelle vers le noyau thalamique du cerveau. A partir de là nous perdons leur trace et ne savons pas où l'information est interprétée comme douloureuse ou agréable ni comment elle engendre des affects (212, 220).

Bien que des études anatomiques indiquent que les fibres thalamiques ont des ramifications vers le cortex pariétal « sensoriel », la stimulation de cette zone ne produit pas de douleur ni chez l'homme ni chez l'animal. Aucune étude n'indique une sensation désagréable à la suite de la stimulation de la surface ou en profondeur des zones motrices, des lobes frontaux, des lobes occipitaux, du gyrus cingulaire et de beaucoup d'autres structures, alors que la douleur, la colère et la peur ont été induites en excitant la substance grise centrale du mésencéphale et quelques autres zones.

Les animaux comme les hommes ont des expressions qui manifestent leurs émotions. Lorsqu'un chien secoue sa queue, nous déduisons qu'il est heureux et lorsqu'un chat siffle et crache nous savons qu'il est enragé, mais ces interprétations sont anthropomorphiques alors qu'en réalité nous ne connaissons pas les sentiments des animaux. Certains auteurs ont tenté d'établir une corrélation objective entre les manifestations du comportement et les sensations. Par exemple, la stimulation de la cornée de l'oeil provoque la lutte, la dilatation de la pupille et la hausse de la pression artérielle (87), mais ces réactions ne sont pas nécessairement dues à la perception consciente des sensations, comme il est clairement démontré par la capacité de fuite de la grenouille décapitée. L'étude expérimentale des mécanismes de la douleur et du plaisir est gênée chez les animaux par le fait qu'ils n'ont pas la parole. Heureusement nous pouvons chercher à savoir si l'animal apprécie ou n'apprécie pas les sensations perçues en analysant ses actes. Les rats, les singes et d'autres espèces peuvent apprendre à appuyer sur un levier dans le but de recevoir une récompense telle que des

boulettes de nourriture ou afin d' éviter quelque chose de déplaisant comme un choc électrique sur la peau. Par son acte volontaire, l'animal exprime si la nourriture, le choc ou la stimulation cérébrale est souhaitable ou non, ce qui permet de qualifier objectivement la manière dont il perçoit la sensation. On a pu ainsi explorer beaucoup de structures cérébrales et identifier leurs capacités de renforcement positif ou négatif.

Actuellement, il est généralement considéré que des zones spécialisées du cerveau participent à l'intégration des sensations douloureuses, mais le mécanisme est loin d'être clair et lors des expériences que nous avons réalisées sur des animaux nous ne savons pas si nous stimulons de voies neuronales ou des centres d'intégration de plus haut niveau. Le concept d'une transmission directe des informations concernant la douleur depuis la périphérie vers le système nerveux central était trop simpliste. Les messages entrants sont probablement traités à plusieurs stades, y compris au niveau des récepteurs périphériques. En conséquence, l'excitation du cerveau peut affecter la transmission aussi bien que l'élaboration des informations entrantes et les retours d'informations vers les organes des sens (feedback). Les stimulations électriques ne contiennent aucune informations spécifiques. Ce sont de simples répétitions monotones d'impulsions similaires. Le fait qu'elles sont un moyen valable de déclencher la perception de la douleur au niveau du système nerveux central implique qu'il n'est pas nécessaire que l'information reçue depuis les récepteurs soit codée. Il s'agit simplement d'activer des groupes de neurones accessibles à l'étude. Ces études doivent permettre de trouver de meilleurs thérapies de la douleur mais elles ont aussi un autre intérêt important: l'étude des relations possibles entre la perception de la douleur et la violence.

### ***La violence au sein du cerveau***

L'histoire de la civilisation humaine est celle d'une coopérative constamment altérée par l'auto-destruction et chaque évolution a été accompagnée d'une augmentation de l'efficacité des comportements violents. L'homme primitif avait besoin d'une force physique et de compétences considérables pour se défendre ou attaquer les autres hommes et les animaux grâce à des pierres, des flèches ou des épées. Mais l'invention des explosifs et le développement des armes à feu ont rendu les individus faibles plus puissants que les mythiques guerriers du passé. Les technologies de destruction ont mis à la disposition de l'homme un vaste arsenal d'armes ingénieuses qui facilitent toutes les formes de violence, y compris les attaques contre la propriété, les assassinats, les émeutes et les guerres, qui menacent non seulement la vie des individus et la stabilité des nations mais l'existence même de la civilisation.

**Notre société est tragiquement déséquilibrée. Elle utilise la plupart de ses ressources pour acquérir des moyens destructifs et n'investit pas significativement dans une recherche qui pourrait fournir les vrais armes d'auto-défense: connaître les mécanismes responsables du comportement violent.**

Ils sont nécessairement liés à l'activité neuronale, même si les causes qui les déclenchent sont peut-être les circonstances extérieures. La violence est le produit de l'environnement culturel. C'est une forme extrême d'agression, qui se distingue de l'expression individuelle utile à la survie et au développement dans des conditions normales. L'homme réagit parfois par la violence aux stimulus désagréables ou douloureux. Il peut même réagir de manière encore plus violente qu'il a été attaqué, mais seulement si on l'a éduqué dans ce sens. Une des fonctions majeures de l'éducation est de construire le self-contrôle des individus de manière à ce qu'il puisse supporter la pression sociale et maintenir leur équilibre (157). Nous devrions prendre conscience qu'il est normal pour un animal d'uriner lorsque sa vessie est pleine et de monter n'importe quelle femelle disponible pendant le rut, mais que l'homme peut être entraîné à maîtriser ces comportements. L'homme peut cultiver sa faculté spécifique de contrôle mental sur ses comportements en s'éduquant.

L'agression entre humains peut être vue comme une réponse comportementale caractérisée par l'utilisation de la force sans le but d'infliger des dommages aux personnes ou aux objets. On peut en

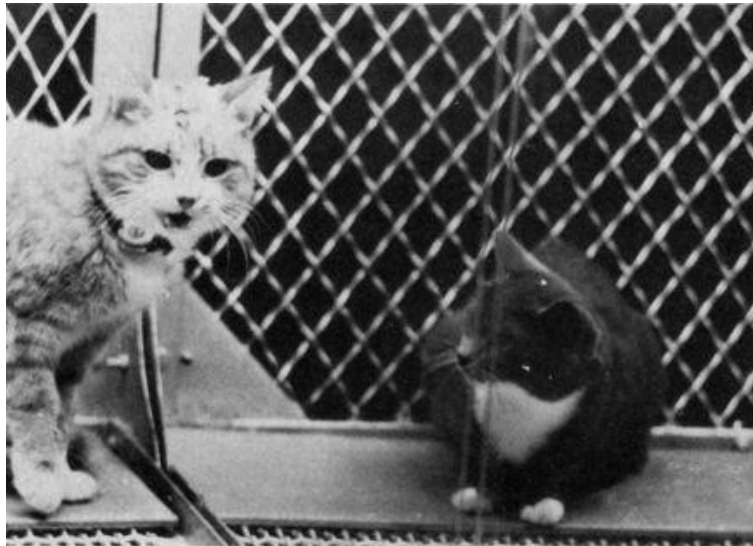
faire une analyse en trois composants:

- les perceptions, qui proviennent de l'environnement et sont captées par les organes des sens et influencent l'individu
- les états mentaux qui en découlent, par le fait du traitement des perceptions par les mécanismes cérébraux pré-déterminés par les facteurs génétiques et l'histoire de la personne
- les réactions qui constituent le comportement individuel et social et sont la partie observable de l'agression

La prise de conscience croissante de la nécessité d'étudier la violence est à l'origine de la création d'instituts spécialisés, et pourtant on est surpris de constater que le principal aspect de ce processus est habituellement négligé. Nous tournons notre attention vers les facteurs économiques, idéologiques, sociaux et politiques et leurs conséquences, qui s'expriment à travers les comportements individuels et collectifs, et nous oublions en général le maillon essentiel qui est le système nerveux central des individus. C'est pourtant un fait établi que l'environnement n'est que la source des perceptions qui sont interprétées par le cerveau et que tous les types de comportements sont le résultat de l'activité intra-cérébrale.

Il serait naïf de vouloir connaître les causes d'une émeute en enregistrant l'activité électrique du cerveau des participants, mais il serait tout aussi faux d'ignorer le fait que chaque participant est muni d'un cerveau où des groupes de neurones déterminés réagissent aux perceptions pour produire un comportement violent. Les facteurs neurophysiologiques et environnementaux doivent être évalués en même temps et nous avons aujourd'hui la méthodologie pour ce type d'étude croisée. L'humanité ne se comporte en général pas d'une manière plus intelligente que le monde animal le ferait dans les mêmes circonstances. Cette réalité est largement causée par l'orgueil qui empêche les hommes de se regarder tels qu'ils sont et de considérer leurs comportements comme naturels et soumis aux lois universelle de la nature. (148) Les expériences portant sur les structures cérébrales responsables du comportement agressif sont une contrepartie essentielle des études sociologiques. Ceci devrait être reconnu par les sociologues aussi bien que par les biologistes.

Hess a été le premier à montrer que le comportement d'attaque peut être induit par stimulation électrique du cerveau sur des animaux (105). Ceci a ensuite été confirmé par de nombreux chercheurs. La stimulation de la matière grise péri-ventriculaire a amené un chat à se comporter « comme s'il était menacé par un chien », sortant ses griffes et répondant de manière bien ciblée. « L'animal crache et grogne ou siffle. Le pelage de son dos est bien dressé, sa queue devient touffue. Ses pupilles s'agrandissent, parfois à leur maximum, et ses oreilles sont dressées en arrière ou s'agitent d'avant en arrière pour effrayer un ennemi invisible. » (106) Il est important de comprendre comment le chat se sent réellement. Est-il conscient de sa réaction? Est-ce que son hostilité à volontairement pour but de blesser? Ou est ce que l'ensemble du phénomène est une réaction pseudo-affective, une colère fausse ou simulée, constituée des comportements moteurs normalement affichés en cas d'attaque mais sans qu'il en ressente réellement les émotions? Ces questions ont été débattues pendant des années. Il apparaît aujourd'hui que la colère feinte ou réelle peuvent toutes les deux être déclenchées par SEC, en fonction du lieu de la stimulation.

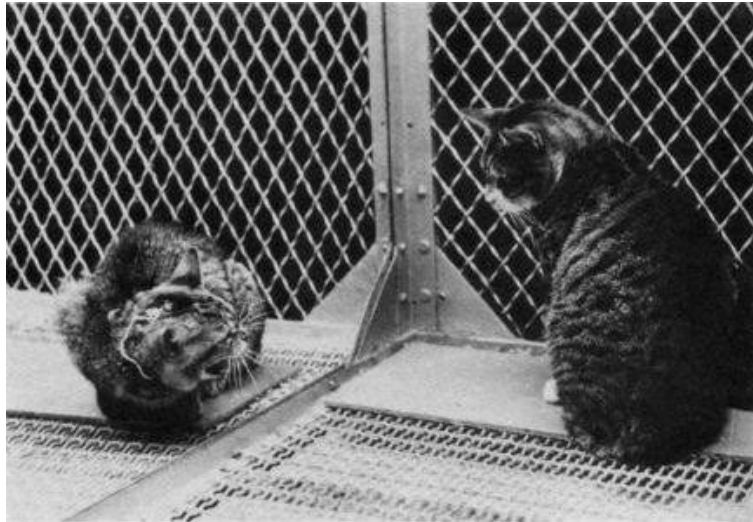




*Illustration 14: En haut la phase de contrôle montre les deux chats amicaux. Puis la stimulation de la partie antérieure de l'hypothalamus a induit une expression agressive non dirigée vers l'autre chat, qui néanmoins réagit par une attitude défensive. Ci-dessus le chat normal attaque l'animal stimulé qui baisse la tête, aplatit ses oreilles et ne répond pas. Cette expérience est un exemple de fausse rage (53).*

La stimulation de la partie antérieure de l'hypothalamus peut induire une apparence d'agressivité avec sifflement et grognement, qui doit être considérée comme simulée, car, comme il est montré sur l'illustration 14, ce comportement n'est pas dirigé vers d'autres animaux. Lorsque d'autres chats réagirent en sifflant et en contra-attaquant l'animal stimulé, celui-ci soit ne réagit pas, soit se mit à fuir en baissant la tête et couchant ses oreilles. De plus les stimulations ne pouvaient pas être associées à d'autres perceptions pour conditionner le chat.

Au contraire, une véritable rage a été induite lors d'autres expériences. Comme montré sur l'illustration 15, la stimulation de la partie latérale de l'hypothalamus a provoqué un comportement agressif dirigé contre un autre animal qui a réagit normalement en faisant face à l'agression.



*Illustration 15: La stimulation de la partie latérale de l'hypothalamus a induit une véritable rage qui est caractérisée par une attitude agressive envers l'autre chat (ci-dessus), et une attaque bien dirigée, avec les griffes sorties, contre d'autres chats (ci-dessous).*





*Attaque contre l'examineur avec qui les relations étaient auparavant amicales (ci-dessus). Apprentissage d'une réaction, telle que faire tourner une roue, dans le but de faire stopper la stimulation cérébrale (ci-dessous). Le chat montre ici clairement son dégoût d'être stimulé dans une zone particulière (53).*



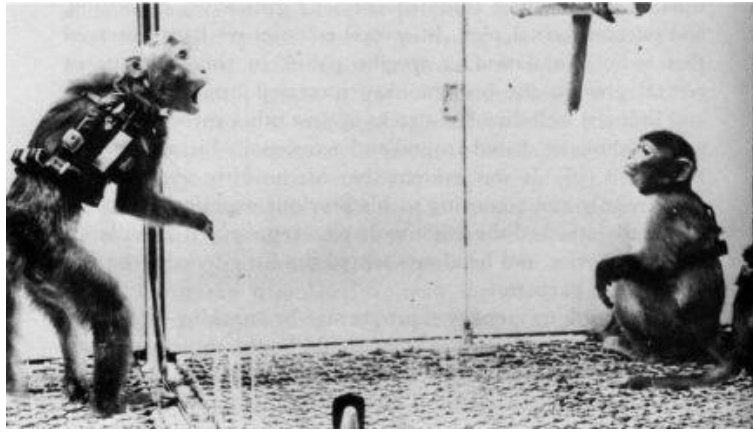
Attaque contre l'examineur avec qui les relations étaient auparavant amicales (ci-dessus). Apprentissage d'une réaction, telle que faire tourner un roue, dans le but de faire stopper la stimulation cérébrale (ci-dessous). Le chat montre ici clairement son dégoût d'être stimulé dans une zone particulière (53).

L'animal stimulé a commencé à rôder en cherchant la bagarre avec les chats dominés mais il évitait les chats les plus dominateurs dans le groupe. Il était évident que la stimulation du cerveau avait créé un état d'agressivité accrue, mais il était aussi visible que le chat dirigeait son agressivité d'une manière intelligente, choisissant son ennemi lors de l'attaque, changeant de tactique et adaptant ses mouvements à la réaction motrice de ses opposants. La stimulation avait induit un état affectif d'hostilité mais le comportement du chat dépendait du caractère de l'animal stimulé et prenait en compte les capacités et l'expérience de l'animal. Les stimulations duraient en général de 5 à 10 secondes, mais afin de connaître la fatigabilité du chat stimulé, une expérience a été conduite pendant plus longtemps, avec un niveau d'intensité de la stimulation réduite pour ne pas induire une rage exagérée. Le sujet d'expérimentation était un chat affectueux qui cherchait habituellement à être cajolé et manipulé dans les mains des chercheurs. Il fut introduit dans la colonie de 5 autres

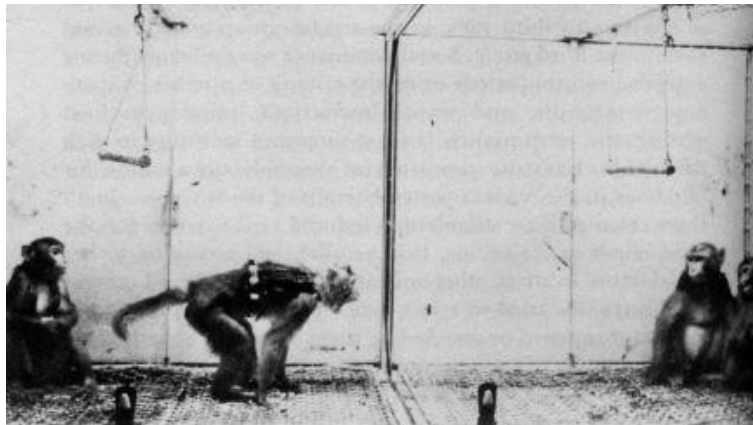
chats et était radio-stimulé en continue pendant 2 heures. Pendant cet durée, le chat est resté couché sans bouger dans un coin de la cage, en grognant de manière presque inaudible de temps en temps. Si un autre chat approchait, il commençait à siffler et menacer et si l'expérimentateur tentait de le cajoler les grognements augmentaient en intensité et il crachait et sifflait souvent. Cette attitude hostile a cessé dès que la stimulation prit fin et le chat est redevenu aussi amicale qu'auparavant. Ces expériences montrent que la stimulation du cerveau a pu modifier les réactions par rapport à des sensations normales et a pu modifier la qualité de ces réactions d'une manière similaire à la modification naturelle des réactions lors d'un changement d'état émotionnel.

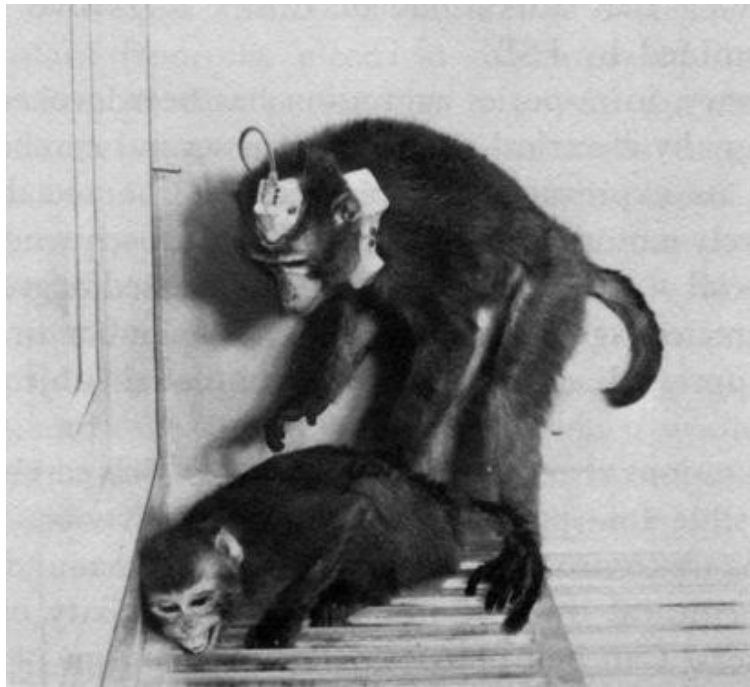
Les singes expriment en général leur soumission en grimaçant, se couchant et offrant des distractions sexuelles. Dans plusieurs colonies nous avons observé que la stimulation par radio de points spécifiques du thalamus ou de la substance grise du singe dominant a augmenté son agressivité et provoqué des attaques précisément dirigées contre d'autres membres de la colonie, qu'il poursuivait et mordait parfois (voir illustration 16) (56). Il était évident que son agressivité était dirigé de manière volontaire et en fonction de son histoire parce qu'il avait tendance à attaquer les autres mâles qui représentaient une menace à son autorité, et il épargnait toujours la petite femelle qui était sa favorite.

Un singe de haut rang exprime sa rage en attaquant les membres soumis de la colonie. Mais quel peut être l'effet de la stimulation sur des animaux de rang inférieur? Peuvent-ils être amenés à mettre en cause l'autorité des autres singe, y compris éventuellement celle du singe dominant, ou bien leur inhibition sociale prendra-t-elle le dessus sur l'hostilité induite? Ces questions ont été étudiées en changeant la composition d'une colonie pour augmenter progressivement le rang social d'un membre, une femelle nommée Lina, qui, dans le premier groupe de 4 animaux était classé dernière, puis qui a progressé vers la 3ème position dans le second groupe, et vers la 2ème position dans le troisième groupe. La domination sociale a été évaluée pendant des durées longues en utilisant un nombre important de critères d'opposition spontanée et de relations sexuelles, l'accès prioritaire à la nourriture et la territorialité. Deux matins successifs Lina a été stimulée par radio dans le noyau ventro-postéro-latéral du thalamus, 5 secondes toutes les minutes pendant une heure. Dans les trois colonies cette stimulation de Lina a induit Lina à courir au travers de la cage, grimper au plafond, lécher, vocaliser, et à attaquer d'autres animaux dans le respect de son rang. Dans le premier groupe, où Lina était soumise, elle a tenté d'attaquer un autre singe une seule fois et fut menacée ou attaquée 24 fois. Dans le groupe 2 elle est devenue plus agressive (24 attaques) et fut attaquée seulement 3 fois. Dans le groupe 3 elle a attaqué les autres singes 79 fois et ne fut pas du tout menacée. On a noté aucun changement dans les nombres de manifestations d'opposition dans les groupes avant ou après stimulation de Lina, ce qui prouve que le changement d'agressivité de Lina était provoqué par la SEC.



*Illustration 16: Un exemple d'attitude de menace et de comportement agressif induits par stimulation électrique du cerveau. Observez que le singe stimulé choisit un autre singe en particulier et que celui-ci exprime habituellement sa soumission en grimaçant, s'accroupissant ou en fuyant. Un tigre en peluche est aussi une bonne cible.*





Un exemple d'attitude de menace et de comportement agressif induits par stimulation électrique du cerveau. Observez que le singe stimulé choisit un autre singe en particulier et que celui-ci exprime habituellement sa soumission en grimaçant, s'accroupissant ou en fuyant. Un tigre en peluche est aussi une bonne cible.

En résumé, des agressions entre animaux d'une même espèce, par exemple les chats et les singes, ont été induites par SEC de diverses structures cérébrales. L'action de la SEC dépend de la configuration sociale. De même que l'on peut induire des séquences complexes de mouvements qui n'ont pas de signification sociale, il est possible d'induire artificiellement un acte d'agression qui peut être dirigé vers un individu précis du groupe ou bien il est possible que la stimulation soit réprimée par le sujet d'expérience en fonction de son rang social (c'est à dire de ses possibilités de combat).

De nombreuses questions restent sans réponse. Quelles sont les zones cérébrales responsables du comportement agressif spontané? Quels sont les mécanismes qui interprètent certaines perceptions comme indésirables? Comment la culture de l'individu influence-t-elle la réactivité de certaines zones cérébrales? Les mécanismes neuro-physiologiques de la violence peuvent-ils être ré-éduqués, ou sont-ils définis à vie après leur initiation au début de la vie? Il est intéressant de noter que la SEC peut modifier l'interprétation de l'environnement et changent les relations pacifiques établies dans un groupe en une soudaine hostilité manifeste. Les mêmes perceptions entre individus, qui sont habituellement neutres, sont devenues sous l'influence de la SEC, source d'attaques féroces et précisément dirigées. Apparemment la stimulation a introduit une déviation sentimentale qui entraîne un changement de perception de la réalité environnante.

L'activité neurophysiologique peut être influencée, voir définie par des facteurs génétiques et les expériences passées. C'est ainsi que le cerveau interprète les perceptions et commande les comportements qui en découlent. Comprendre les causes des agressions entre individus d'une même espèce animal ou entre les humains requiert de connaître la sociologie et la neurophysiologie. L'influence de l'électricité ne peut pas déterminer la cible de l'hostilité ou diriger la séquences des comportements agressifs. Ceci est déterminé par l'histoire du sujet stimulé et à son adaptation immédiate aux changements des circonstances. La réponse initiée artificiellement, comme l'agression spontanée ont beaucoup en commun. Ceci suggère que des zones similaires du cerveau s'activent dans les deux cas.

Bien que les actes violents des individus et des groupes nous paraissent fort éloignés de la décharge électrique des neurones, nous devons bien considérer que la personnalité n'est pas constituée par l'environnement mais par le tissu neuronale. Ce n'est pas l'utilisation de la SEC qui donnera les solutions pour résoudre les agressions indésirables. C'est simplement une méthode pour étudier ce problème et acquérir les données nécessaires en ce qui concerne les mécanismes mentaux impliqués. Il est bien connu que le traitement médical des patients cardiaques est basé sur l'analyse anatomique et physiologique du coeur et que sans ses informations il aurait été impossible de trouver de nouveaux médicaments ou de donner des avis médicaux utiles. D'une manière similaire, sans connaissance du cerveau il sera difficile d'établir les rapports entre les causes sociales et la réactivité des individus.

### *Anxiété, peur et violence induites par la SEC*

L'anxiété a été considérée comme l'alpha et l'oméga de la psychiatrie. C'est un des thèmes centraux de la philosophie existentialiste et elle assombrie la vie normale ou anormale de la plupart des humains. Plusieurs états émotionnels peuvent être classés sous le terme générique d'états anxieux, incluant la crainte, la peur, la panique, la terreur, toutes des variantes d'un même ressenti. Une des perturbations mentales les plus complexes, l'excès d'anxiété ou l'anxiété irraisonnée, qui inclue les phobies et les obsessions compulsives, est souvent résistante aux traitements. Dans certains cas, elle a été améliorée par l'électrocoagulation de certaines zones précises du pôle frontal. Grey Walter (234) a revendiqué 85% de restauration des relations sociales dans un groupe de 60 patients atteints d'anxiété et d'obsessions qui ont été traités par une coagulation minutieusement dosée faites par l'intermédiaire d'électrodes implantées dans les lobes frontaux.

Sans entrer dans un débat sémantique, nous pouvons considérer l'anxiété comme un état émotionnel relatif aux tensions conscientes ou subconscientes dues à des menaces réelles ou imaginaires à l'intégrité psychologique ou physique de l'individu. Un niveau modéré d'anxiété peut motiver, alors qu'un niveau excessif peut paralyser l'activité mentale et somatique. Au-delà d'une certaine limite, l'anxiété devient insupportable. Dans les circonstances normales, elle est le produit, comme toutes les émotions, de l'interprétation des perceptions provenant de l'environnement et des souvenirs, qui peut être influencée par des facteurs hormonaux et neuronaux. De plus il y a de nombreuses preuves que l'anxiété et la crainte peuvent être induites directement ou indirectement suite à la stimulation électrique. La sensation ou la crainte de la douleur peuvent être effrayantes et dans certains cas, lorsque la SEC a engendré une sensation d'inconfort local ou généralisé, les patients ont exprimé leurs préoccupations quand à la suite de l'examen. En plus de la crainte d'une gêne pouvant se prolonger, il y avait peut être dans leur réaction une composante d'anxiété primaire, qui est difficile à évaluer.

La destruction de certaines parties du thalamus provoque un soulagement de la névrose d'anxiété et des névroses obsessionnelles compulsives qui est sans doute due à l'interruption des voies neuronales vers les lobes frontaux. D'un autre côté, la stimulation du noyau thalamique produit très rarement l'anxiété. Les patients ne rapportent qu'un sentiment de faiblesse, de se sentir différents, de vertige, de flottement ou d'ivresse (214).

Des expériences plus significatives d'induction de la peur, sans aucune autre sensation ont été publiées par plusieurs chercheurs. Les lésions du thalamus médian amène un soulagement réel de la douleur avec un minimum de perte de sensations. C'est pourquoi cette zone a souvent été explorée sur des patients cancéreux. Dans certains cas, cela a produit une crise d'anxiété aigüe, qu'un patient a décrit d'une manière saisissante ainsi: « C'est plutôt comme la sensation de manquer avoir été renversé par une voiture et d'avoir bondi en arrière sur le trottoir... brrrr » Quelque chose au fond de

ses tripes était très déplaisant, très inhabituel et il ne voulait vraiment pas ressentir cela à nouveau (73). Ce qui est surprenant est que cette sensation désagréable de crainte était ressentie dans l'hémisphère corporelle opposée à l'hémisphère cérébrale stimulée. Sweet (221) a présenté le cas d'un patient très intelligent, le doyen d'un établissement d'enseignement supérieur, qui, suite à une sympathectomie unilatérale ayant pour but de traiter l'hyperhidrose de son membre supérieur a rapporté que la sensation de frissonnement qu'il ressentait habituellement lorsqu'il écoutait un passage exaltant dans une musique n'avait plus lieu que dans une hémisphère, et qu'il ne ressentait plus cette sensation de ravissement dans la partie ayant subie la sympathectomie. Ces cas sont particulièrement intéressants car les émotions sont habituellement ressenties d'une manière plutôt diffuse et bilatérale sauf si l'innervation a été spécifiquement rompue.

Le rôle du thalamus dans l'intégration de la peur est aussi suggéré par une étude portant sur une patiente que les crises d'anxiété paralysante d'intensité irrésistibles avaient menée à plusieurs tentatives de suicide et à un état de dépression chronique et d'agitation fortement résistant aux médicaments et psychothérapies. La stimulation du noyau dorsal du thalamus provoquait exactement le même type d'attaques, avec une intensité fonction de l'intensité appliquée. Il a été possible de détecter le niveau de seuil d'une anxiété moyenne et d'augmenter l'intensité de la crise simplement en tournant la molette de commande du stimulateur. « Nous pouvions garder la main sur le bouton et diriger le niveau d'anxiété » (73).

Chez une de nos patientes, la stimulation d'une zone similaire du thalamus a provoqué une expression typique de la peur et elle se tournait des deux côtés pour observer la salle derrière elle. Lorsqu'on lui a demandé ce qu'elle faisait, elle a répondu qu'elle se sentait en danger et craignait que quelque chose d'horrible ne se produise. Cette sensation de crainte était perçue comme si elle était réelle et elle avait le pré-sentiment d'un désastre imminent de cause indéterminée. Cet effet s'est produit lors d'expériences pendant plusieurs jours et ne fut pas altéré par la présence de projecteurs et de caméras vidéo dans le but de faire un document à propos de cette expérience. Ses mouvements et son discours variaient en fonction de l'environnement mais son expression faciale et les sensations aigües non spécifiques de cette crainte inexplicable étaient similaires. Cela commençait dans un délai de moins de une seconde, durait tout le long de la stimulation et disparaissait sans suites. Le patient pouvait se remémorer sa crainte sans être bouleversé.

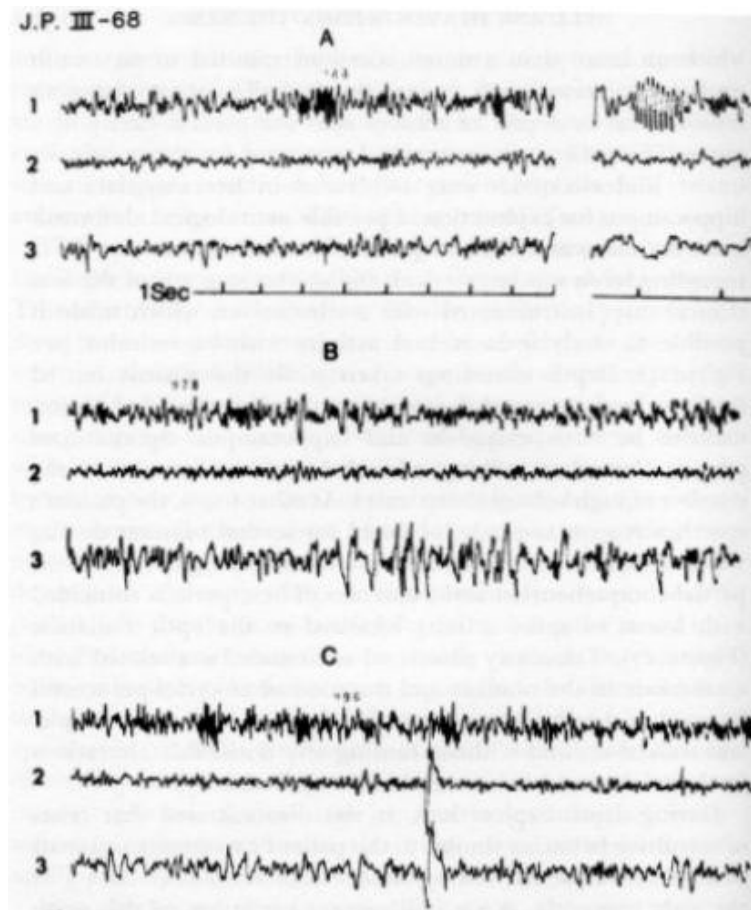
Certains patients ont montré un état d'anxiété et d'agitation lors de la stimulation du pallidum par une onde de fréquence supérieure à 8 hertz et ils sentaient aussi une sensation de chaleur écrasante dans la poitrine (123). Quelques uns ont fait état d'une « anxiété vitale dans la poitrine », et se mettaient à crier d'angoisse lorsque l'expérience était répétée. Des réactions émotionnelles intenses ont été induites par la stimulation des noyaux de l'amygdale. Ces réactions variaient pour un même patient avec les mêmes paramètres de stimulation. L'effet induit était parfois la rage, parfois la peur. Un des patients disait « Je ne sais pas ce qui m'est arrivé. Je me sentais comme un animal » (100).

La sensation de peur sans douleur associée a aussi été observée lors de la stimulation de lobe temporal (230). Cette effet peut être qualifié d'« illusion de la peur » (174) car il n'y avait évidemment pas de raison réelle d'être effrayé, si ce n'est par la simulation électrique des structures cérébrales. De toute manière, la peur est une interprétation mentale, logique ou illogique, de la réalité qui dépend de plusieurs facteurs culturels et de l'expérience personnelle. Le fait de pouvoir la provoquer par la stimulation de quelques zones du cerveau permet une étude des mécanismes neuronaux de l'anxiété. Nous pouvons considérer comme hypothèse de travail que la qualité émotionnelle de la peur dépend de l'activation de structures bien déterminées situées probablement dans le thalamus, l'amygdale et quelques autres noyaux non encore identifiés. Le déclenchement de cette peur dépend en général de l'évaluation de perceptions, mais le seuil de déclenchement peut être modifié et atteint par la SEC. La connaissance des mécanismes intra-cérébraux de l'anxiété et

de la peur permettra de définir des traitements médicamenteux et psychiatriques plus rationnels pour beaucoup de patients en souffrance, et pourrait aussi nous aider à comprendre et réduire le niveau d'anxiété dans notre civilisation.

On sait aussi que certains cas désespérés de violence irraisonnée et incontrôlable sont dues à un fonctionnement neurologique anormal. Les personnes atteintes peuvent en venir à blesser ou même tuer soit des étrangers soit des membres de leur famille envers lesquels ils sont habituellement affectueux. Une jeune et séduisante femme de 20 ans, J.P., en est un exemple typique. Elle souffrait d'une encéphalite depuis l'âge de 18 mois et avait subi de nombreuses crises du lobe temporal et crises de grand mal dans les dix dernières années. Ses crises fréquentes et imprévisibles de colère était son principal problème social. Plus d'une douzaine de fois elle avait attaqué une personne. Elle avait par exemple planté un couteau dans le coeur de quelqu'un, ou une paire de ciseaux dans la cavité pleurale d'une infirmière. Le patient fut interné chez les fous criminels et des électrodes furent implantées dans son amygdale et son hippocampe afin de trouver une éventuelle anormalité neurologique. Son insoumission ne permettait pas de réaliser les enregistrements EEG dans la salle d'examen. Elle devint ainsi une des premières à être équipée d'un stimoceiver, permettant d'étudier son activité intra-cérébrale sans contraintes (voir illustration 4). Les enregistrements de signaux profonds effectués alors que la patiente se déplaçait librement dans l'asile présentaient des anomalies des signaux électriques marquées aussi bien dans l'amygdale que dans l'hippocampe. Des périodes de marche sans buts coïncidaient avec une augmentation du nombre de pics de forte tension électrique. A d'autres moments la parole de la patiente était inhibé pendant plusieurs minutes et elle ne pouvait pas répondre aux questions bien qu'elle avait encore une certaine compréhension et une certaine faculté de conscience. Ceci coïncidait avec une explosion de pics d'activité électrique localisé dans la fibre du nerf optique (illustration 17). Un état transitoire d'excitation émotionnelle était en rapport avec une augmentation du nombre et de la durée de vagues d'ondes de fréquence 16 hertz. Mais la patiente pouvait lire des journaux, discuter et se déplacer sans que l'on note d'altérations dans l'enregistrement à distance de son activité cérébrale.

Lors d'explorations profondes il a été montré que des crises de comportement d'attaque, similaires aux épisodes aigüe de colère dont souffraient la patiente, pouvaient être déclenchées par la stimulation radio du contact numéro 3, situé dans l'amygdale droite. Une excitation de ce point par un courant de 1,2 milliampères fut appliquée alors qu'elle jouait de la guitare et chantait avec enthousiasme et talent. A la septième seconde de stimulation, elle jeta la guitare et, prise d'un état de rage, elle attaqua le mur, puis rôda pendant quelques minutes avant de se calmer graduellement et de reprendre son comportement joyeux normal. Cette expérience fut réalisée lors de deux autres journées. Cette rage était induite uniquement par la stimulation du contact situé dans l'amygdale. Ceci a suggéré que les neurones situés dans la zone proche de ce contact étaient impliqués dans le comportement anormal de la patiente et ceci fut d'une grande importance pour le traitement de cette patiente, par coagulation localisée.



*Illustration 17: Enregistrement télémétrique de l'activité électrique du cerveau sur une des patientes montrées sur l'illustration 4. La localisation des contacts est: - Canal 1: noyau de l'amygdale – Canal 2: radiation optique antérieure – Canal 3: radiation optique postérieure. A: les explosions spontanées d'activité étaient plus nombreuses lorsque la patiente était dans un état d'excitation psychologique. B: des pics d'activité apparaissent sur le canal 3 lorsque la patiente s'arrête spontanément de parler; C: les enregistrements de contrôle n'ont pas été modifiés par un comportement amical ou par d'autres types d'activités motrices, comme la marche ou la lecture (60).*

D'autres chercheurs ont aussi apporté la preuve que la stimulation électrique de l'amygdale peut induire un comportement violent. King (128) a décrit le cas d'une femme atteinte de dépression et d'aliénation, avec une toute petite voix et une expression faciale inexistante, sans vie, qui se mit à avoir des inflexions vocales fortement modifiées et une expression de colère après avoir été stimulée par un courant de 5 milliampères dans l'amygdale. Pendant cette stimulation elle a rapporté que « J'ai ressent comme l'envie de me lever de cette chaise! S'il vous plait ne me laissez pas faire! Ne me faites pas cela, je ne veux pas être méchante! » Lorsque l'interviewer lui a demandé si elle voudrait le frapper, elle a répondu « Ouais, je veux frapper quelque chose. Je vais me faire quelque chose, je vais le déchirer. Prenez le pour m'en empêcher! » Puis elle a tendu son écharpe à l'interviewer et celui-ci lui a tendu une pile de feuilles de papier qu'elle a déchiré en morceaux en disant « Je n'aime pas me sentir ainsi » Lorsque le niveau de stimulation fut réduit à 4 milliampères, elle changea d'attitude pour sourire largement et expliqua que « Je sais que c'est fou ce que je fais. Je voulais me lever de cette chaise et courir. Je voulais frapper quelque chose, déchirer quelque

chose, n'importe quoi. Pas vous, n'importe quoi. Je voulais me lever et pleurer. Je n'avais pas de contrôle de moi. » Une nouvelle augmentation de l'intensité à 5 milliampères, provoqua des comportements agressifs similaires et elle leva son bras comme pour frapper.

Il est remarquable que bien que les patients semblaient sans contrôle lors de ces deux cas d'agressivité induite par stimulation électrique, ils n'ont pas attaqué l'interviewer, ce qui prouve qu'ils avaient conscience de leur position sociale. Ceci nous rappelle le comportement des singes stimulés qui dirigent leur agressivité en fonction de leur histoire passée et de leur rang social et n'osent pas mettre en cause l'autorité bien établie du singe dominant. Apparemment la SEC peut induire un état accru d'agressivité qui s'exprime en fonction de la conformation de l'individu et les circonstances environnantes. **Nous pouvons conclure que les états émotionnels induits de manière artificielle ne sont qu'un facteur de plus dans la constellation des éléments déterminants le comportement.**

### *Stimulation du plaisir dans le cerveau des animaux*

Il est un fait surprenant que la science et la littérature s'intéressent plus à la souffrance qu'au bonheur. Le thème central de la plupart des romans est tragique, alors que les livres portant sur le bonheur sont rares. D'excellentes monographies concernant la douleur ont été publiées, mais des études équivalentes concernant le plaisir n'existent pas. Typiquement, un chapitre entier est consacré à la douleur dans le monumental ouvrage de référence de la Société Américaine de Physiologie (75), alors que le plaisir n'est même pas cité dans l'index. Bien évidemment, la recherche du bonheur n'a pas suscité autant d'intérêt scientifique que le peur ou la douleur.

Dans la littérature de psychologie, l'étude de la récompense est bien représentée, mais elle est néanmoins considérée à un second niveau, voir comme un corollaire de la diminution de la douleur. Il a été dit qu'une sensation véritablement « agréable » ne peut exister parce que les organismes ont une tendance constante à diminuer les sensations perçues. Le plaisir était en conséquence un mot titre recouvrant aussi bien la baisse de l'effort, que l'arrêt d'une forte stimulation, ou la réduction de la douleur. Cette théorie de la réduction de la douleur (154) a été à la base de nombreuses études en psychologie, mais il n'est pas clair de penser que nous vivons dans un « monde de punition dans lequel la seule réalité est la souffrance et que notre cerveau peut ressentir plusieurs niveaux de douleur mais pas de plaisir réel. Des études expérimentales récentes ont renouvelé l'intérêt pour l'ancienne théorie hédoniste. D'après cette théorie, la douleur et le plaisir sont des sensations relativement indépendantes et peuvent être induits par différents types de stimulations qui sont perçues par des mécanismes cérébraux séparés. On considère que le comportement est motivé par des stimuli que l'organisme tente de minimiser (la douleur) ou de maximiser (le plaisir). On pense que le cerveau est doté de deux systèmes distincts de perception et que le plaisir ou la récompense peuvent être déterminés non seulement par la fin de la douleur mais aussi par l'activation d'une source primaire de plaisir. La découverte de deux mécanismes distincts dans le cerveau, un pour la punition, comme mentionné ci-avant, et un pour la récompense, fournit la bases physiologique expliquant la dualité des motivations postulé par l'hédonisme. (62, 165)

Le fait surprenant est que les animaux d'espèces différentes, y compris rats, chats et singes, ont volontairement choisit d'appuyer sur un levier qui déclenche la stimulation électrique d'aires spécifiques du cerveau. La preuve en est que des animaux qui initialement appuyaient sur un levier pour obtenir une récompense de morceaux de sucre, ont évolué en pressant le levier un nombre de fois similaire ou même supérieur lorsque la stimulation électrique des zones était la récompense. Ces expériences ont montré de manière éclatante que les animaux adorent les impulsions électriques qui sont délivrées suite à leur demande. Regardez un rat, singe stimuler son propre cerveau est un spectacle fascinant. Habituellement chaque pression du levier déclenche une stimulation de 0,5 à 1

seconde qui peut être plus réconfortante que la bouffe. Dans une situation de choix, les rats affamés courent plus vite au levier pour obtenir une auto-stimulation que pour la bouffe et ils persistent sans fin à appuyer dessus, ignorant la nourriture à leur portée. Les rats, ont déplacé des obstacles, couru des « labyrinthes » et même croisés des sols électriques pour atteindre le levier de la stimulation du cerveau.

Pas toutes les zones du cerveau ne sont aussi sensibles au plaisir. Le plus fort taux de pression du levier (jusqu'à 5000 coups par heure) ont été enregistrés sur des animaux qui se auto-stimulent dans l'hypothalamus postérieur. L'excitation des structures rhinoencéphaliques (seulement 200 coups par heure) a été considéré comme une récompense moyenne. Dans les aires motrices ou sensorielles, les animaux auto-stimulés à un niveau à peine chanceux (c.a.d. 10 à 25 coups par heure), et ces zones sont classées neutres. Comme nous devons nous y attendre. Lorsque la stimulation était déplacée de la zone de récompense vers les noyaux de punition du même animal, ils appuyaient le levier une fois pour toute. Cela montre que le cerveau d'un seul animal à deux groupes de structures, une pour la récompense et l'autre, pour le contraire.

La recherche exhaustive des zones cérébrales du plaisir chez le rat a montré que 60% de son cerveau est neutre, 35% participe au sentiment de récompense et seulement 5% peut participer au sentiment de punition. La notion d'un cerveau bien plus capable d'élaborer le plaisir que la douleur nous rends plutôt optimiste et donne l'espoir que cette prédominance du potentiel de plaisir peut amener au développement de meilleurs comportements.

Mais, comme nous ne pouvons pas discuter avec les animaux, toute idée que nus pourrions nous faire concernant le type de plaisir qu'ils éprouvent sous SEC n'est qu'une spéculation. Nous avons cependant quelques preuves que les sensations de plaisir diffèrent selon la zone cérébrale qui les génère car les animaux affamés s'auto-stimulent plus la zone médiane de l'hypothalamus alors que des rats castrés auxquels on administre des hormones sexuelles s'auto-stimulent plutôt les zones latérales de l'hypothalamus.

Restait à savoir si ces constatations faites sur des animaux pouvaient s'appliquer aux comportements humains. La recherche d'éventuelles zones du plaisir dans le cerveau humain à été menée par implantation d'électrodes.

### ***Plaisir induit par la stimulation électrique du cerveau humain***

Penfield (1943), se basant sur des expériences menées en cours de chirurgie cérébrale, a affirmé que, en ce qui concerne la colère, la joie, le plaisir et l'excitation sexuelle chez l'humain « dans la limite des expériences qui ont été menées, ni une décharge épileptique, ni la stimulation électrique n'ont pu éveiller de telles émotions. Nous sommes tentés de croire qu'il n'existe pas de mécanisme spécifique de ces émotions dans le cortex. » Cette affirmation reste vraie en ce qui concerne le cortex cérébral, mais des études sur des patients équipés d'électrodes implantées dans le cerveau ont montré que la stimulation électrique du cerveau profond peut induire des expressions du plaisir. Ceci a été mis en évidence par le compte rendu verbal des patients, leur expression faciale, leur comportement général et leur désir de recommencer l'expérience. Sur un groupe de 23 patients atteints de schizophrénie (98), la stimulation électrique de la région septale, située en profondeur des lobes frontaux a induit une augmentation de la vigilance, parfois accompagnée par une augmentation de la parole, une euphorie ou du plaisir. Une étude plus systématique d'un autre groupe de patients a apporté d'autres preuves de l'effet de récompense induit par la stimulation de la région septale (20,99). Un homme souffrant de narcolepsie fut équipé d'un petit stimulateur et d'un système de comptage permettant de connaître le nombre de fois qu'il stimulait volontairement chacun des points de contacts situé dans son cerveau. Sur une période de sept semaines, le plus haut

score concernait un point situé dans la région septale. Le patient déclara que lorsqu'il appuyait sur ce bouton en particulier, il se sentait « bien », comme s'il se préparait à un orgasme, sans y aboutir, et qu'il se sentait souvent impatient et anxieux. La pression de ce « bouton septal » soulagea grandement sa narcolepsie. Un autre patient, atteint d'épilepsie psychomotrice appréciait aussi l'auto-stimulation septale. Là encore cette région avait le plus haut score. La stimulation induisait souvent des pensées sexuelles. La stimulation de la région septale par injection directe d'acétylcholine a induit des modifications de l'activité électrique de deux patients épileptiques et a modifié leur humeur. Ils sont passés d'un état de dysphorie à l'euphorie, accompagnée le plus souvent d'une motivation sexuelle et de sensations orgasmiques.

D'autres connaissances ont été acquises lors de l'étude d'un groupe de 65 patients souffrant de schizophrénie ou de la maladie de Parkinson, sur lesquels un nombre total de 643 contacts furent implantés, principalement dans la partie antérieure du cerveau (201). Les résultats furent classés ainsi:

- 360 points étaient « positif I »: « les patients se sentaient relaxés, à l'aise, avec un sentiment de bien-être et/ou une légère somnolence. »
- 31 points étaient « positif II »: « les patients étaient totalement changés... ils étaient de bonne humeur, se sentaient bien. Ils étaient relaxés, à l'aise et s'appréciaient, en souriant souvent. Il y avait une légère euphorie mais le comportement était adapté. » Ils sollicitaient parfois plus de stimulations.
- 8 autres points étaient « positif III »: « l'euphorie dépassait véritablement les limites du normal. Les patients riaient à gorge déployée, s'appréciaient, aimaient réellement la stimulation et en voulaient plus. »
- 38 autres points donnaient des résultats ambivalents. Les patients exprimaient parfois du plaisir ou du déplaisir après la stimulation de la même zone.
- 3 autres points furent classifiés « orgasme » car le patient exprimait d'abord de la satisfaction et soudainement étaient complètement satisfaits et ne souhaitaient plus de stimulation pendant une durée de temps variable.
- Environ 200 autres points produisaient des réactions désagréables, comprenant l'anxiété, la tristesse, la dépression, la peur et des crises émotives.

Une séquence filmée lors de cette étude fut très instructive. Le patient, qui affichait une expression de tristesse et une humeur légèrement déprimée, se mit à sourire lors de la stimulation du rostre, puis il a repris son état dépressif, pour sourire à nouveau dès que la stimulation reprenait. Puis une stimulation de 10 secondes a modifié de manière durable son comportement et son expression faciale. Il est devenu de bonne humeur. Certains patients ont reçu un stimulateur portable afin qu'ils traitent leur état dépressif par auto-stimulation. Les résultats cliniques obtenus étaient apparemment bons.

Ces connaissances implique d'agir avec précaution lors des interventions chirurgicales sur de cerveau, afin de ne pas induire une euphorie ou une dépression excessives lorsque des zones cérébrales ayant des propriétés de renforcement ou de réduction de ces sentiments sont touchées. L'instabilité émotionnelle, caractérisée par des bouffées de larmes ou de rire sans raisons apparentes a déjà été observée à la suite d'interventions de neuro-chirurgie. Ces importants problèmes de comportement auraient pu être évités en préservant les zones impliquées dans la régulation des émotions.

Dans une de nos expériences, concernant trois patients atteints d'épilepsie psychomotrice, des sensations de plaisir ont été observées (50, 58, 109). Le premier cas est celui d'une femme de 36 ans, avec un long historique de crises d'épilepsie qui ne pouvait être maîtrisées par la prise de médicaments. Des électrodes furent implantées dans son lobe temporal droit. Lors de la stimulation

réalisée dans la partie supérieure à environ 3 millimètres sous la surface, elle a fait état d'un picotement agréable dans la partie gauche de son corps « depuis mon visage jusqu'en bas de mes jambes ». Elle se mit à glousser et à faire des commentaires amusants, et mentionna qu'elle aimait beaucoup cette sensation. La répétition de cette stimulation rendait la patiente plus communicative et séduisante. Finalement elle exprima directement le désir de se marier avec le thérapeute. La simulation d'autres points de contact ne modifia pas son état d'esprit, ce qui prouve la spécificité de cet effet induit. Lors des entretiens de contrôle réalisés avant et après la SEC, son comportement était assez normal, sans familiarité ou amitié excessives.

Le deuxième patient était J.M, une femme de 30 ans, intelligente, séduisante et coopérative. Elle souffrait depuis onze années de crise de psychomotricité et de grand mal qui résistaient aux traitements médicaux. Des électrodes furent implantées dans son lobe temporal droit et la stimulation d'un contact dans l'amygdale induit une sensation de plaisir et de relaxation, et augmenta considérablement son discours, qui prit un caractère intime. Cette patiente a clairement déclaré son affection pour le thérapeute (qu'elle ne connaissait pas auparavant), embrassa ses mains et exprima sa grande gratitude pour ce qu'on lui faisait. Une augmentation similaire de l'expression verbale et des émotions fut répétée au autre jour lorsque l'on stimula le même contact. Mais ceci ne se manifesta pas lorsque l'on explorait d'autres zones du cerveau. Lors des tests de contrôles, la patiente était plutôt réservée et posée.

Le troisième patient était un garçon de onze ans présentant une épilepsie psychomotrice grave. Six jours après l'implantation des électrodes dans les deux lobes temporaux latéraux, son quatrième entretien fut réalisé alors que l'activité de son cerveau était enregistrée en continue. Des stimulations d'une durée de 5 secondes étaient appliquées selon une séquence pré-déterminée avec des intervalles d'environ quatre minutes. L'interviewer gardait un air sympathique. Il n'était en général pas à l'initiative des conversations. Après six excitations le contact LP, situé à la surface du lobe temporal gauche fut stimulé pour la première fois. Ceci amena le patient à déclarer une sensation immédiate de plaisir. Le patient avait été silencieux lors des 5 minutes précédentes, mais dès la stimulation il s'exclama « He, vous pouvez me grader plus longtemps quand vous me donnez cela; je les aime ». Il continua à insister sur le fait que le test en cours le faisait se sentir bien. Des affirmations similaires avec l'expression emphatique de se sentir bien, suivirent 8 des 16 stimulations du même point au cours de cet entretien de 90 minutes. Plusieurs de ces manifestations étaient accompagnées de déclarations d'affection pour l'interviewer et lors de la dernière il s'étira voluptueusement. Aucune de ces manifestations n'apparut lors des la période de contrôle de 26 minutes avant les stimulations, ni pendant les 22 autres minutes pendant lesquelles d'autres contacts furent stimulés. L'analyse statistique de la différence de la fréquence des expressions de plaisir avant et après le déclenchement de la stimulation a montré que les résultats étaient très significatifs ( $P < 0,001$ ).

L'expression ouverte du plaisir lors de cet entretien et le comportement de passivité généralement exprimé peuvent être liés, plus ou moins consciemment aux tendances féminines. On comprendra donc mieux pourquoi, lors de l'examen suivant, réalisé de manière similaire, la patient exprima une confusion quand à son identité sexuelle juste après la stimulation du point LP. Il commença subitement à exposer son désir de se marier, mais lorsqu'on lui demanda « à qui? », il de répondit pas immédiatement. Après la stimulation d'un autre point et un silence de 1 minutes et 20 secondes, le patient dit de manière confuse et visiblement en luttant contre ses propres pensées, qu'il parlait envers l'interviewer. Puis le sujet fut totalement abandonné. La surveillant qui écoutait depuis la salle d'à côté interpréta cela comme un vœux le vœux à peine dévoilé de marier l'examineur. On décida de stimuler le point à nouveau dès que l'examen prévu serait terminé. Lors des 40 minutes suivantes sept autres points furent stimulés et le patient évoqua des sujets sans aucun rapport. Puis le point LP fut stimulé à nouveau et le patient se mit à faire référence à la barbe de l'examineur et continua en parlant de poils pubiens et du fait qu'il avait été l'objet de jeux sexuels dans le passé. Il exprima ensuite des doutes sur son identité sexuelle, en disant « Je me demandais si je voulais être

un garçon ou une fille, ce que j'aimerais bien être. » Suite à une nouvelle stimulation il fit le remarque empreinte de plaisir que « C'est l'effet que vous me faites maintenant... j'aimerais être une fille. »

Lors de l'interprétation de ces résultats il est nécessaire de prendre en considération le contexte psychologique de la stimulation électrique, parce que la personnalité du sujet, comprenant les aspects psycho-dynamiques et psycho-génétiques peut être un facteur essentiel du résultat de la stimulation. L'expression des tendances féminines chez notre patient n'était probablement pas seulement due à la SEC mais l'expression d'aspects de la personnalité déjà présents, qui furent révélés par la stimulation. L'équilibre entre l'expression des instincts et la préservation de soi est peut être modifiée par la SEC. C'est ce qui est suggéré par le fait qu'après une stimulation, le patient dit sans anxiété apparente « j'aimerais être une fille », mais lorsque cette idée lui fut proposée par le thérapeute lors d'un entretien suivant, le patient devint visiblement anxieux et sur la défensive. De minute en minute le fonctionnement de la personnalité change sous l'influence de l'environnement et de la relation patient-examineur. Cela peut modifier la nature des réponses induites. Ces variables expérimentales doivent être prises en considération.

### ***Comportement amical et augmentation de la conversation sous le contrôle de l'électricité.***

Les relations humaines évoluent entre les deux pôles opposés de l'amour et de la haine qui sont déterminés par une combinaison très complexe et mal connue d'éléments dont les instincts, l'imprégnation culturelle et les caractéristiques émotionnelles et intellectuelles. Ce sujet pose tellement de problèmes sémantiques et conceptuels que peut de chercheurs on osé s'y intéresser de manière expérimentale et, en dépit de son importance essentielle, la plupart des livres de référence en psychologie évitent d'en discuter. Définir le comportement amical est difficile bien que son identification soit aisée dans des cas typiques. Pourtant nous passons notre temps quotidien à évaluer et classer les relations personnelles en terme d'amitié ou d'hostilité. Un visage souriant, un regard attentif, une main chaleureuse, un rapport dans la posture corporelle, un intérêt intellectuel, la partage d'une idéologie, les mots gentils, les commentaires sympathiques et l'expression de l'acceptation de l'autre sont certains des indicateurs d'une relation interpersonnelle cordiale. L'expression de l'amitié est un des comportements sociaux qui, bien sûr, nécessite le contact entre deux ou plusieurs individus. Une relation mutuelle agréable crée une expérience et sont la source pour chacun d'une variété de stimuli visuels, acoustiques, tactiles et autres, qui sont reçus et interprétés par chacun avec un « biais amical ». La principale caractéristique de l'amour et de l'amitié est précisément que les stimuli reçus depuis une personne appréciée sont interprétés comme étant plus agréables que les mêmes stimuli provenant d'autres sources. Cette interprétation est nécessairement en rapport avec l'activité des neurones.

Les mécanismes de l'amitié sont peu connus, mais, comme c'est le cas de n'importe quelle manifestation du comportement, aucun état émotionnel n'est possible sans un cerveau en état de fonctionnement. Néanmoins, il peut être supposé que certaines structures cérébrales sont nécessaires et d'autres superflues pour l'interprétation des perceptions dans un sens amical et pour l'expression de l'amitié. Cette idée est fortement étayée par le fait, souvent prouvé par la neuro-chirurgie, que la destruction de parties du cerveau, comme les aires motrices et sensorielles, engendre un déficit moteur sans modifier le comportement affectif, alors que l'ablation des lobes frontaux peut induire des altérations considérables de la personnalité émotionnelle. Les expériences de stimulation électrique des lobes frontaux, qui induisent parfois des manifestations d'amitié, viennent encore renforcer cette idée.

Chez le patient A.F, dont nous avons discuté en ce qui concerne les expression du plaisir, le troisième entretien fut marqué par des changement dans le caractère et une augmentation du

discours suite à la stimulation d'un contact dans le cortex temporal. Quatorze stimulations furent appliqués, dont sept sur le contact RP situé dans la partie latérale inférieure de lobe frontal droit, et les sept autres sur des points de contacts situés dans le lobe temporal droit et les profondeurs des deux lobes temporaux. L'entretien commença par environ cinq minutes de conversation animée puis lors des dix minutes suivantes, le patient a progressivement ralenti pour ne parler qu'environ cinq secondes toutes les deux minutes. Tout au long de l'entretien le thérapeute a encouragé l'expression spontanée du sujet en réagissant avec compassion, en blaguant avec le sujet, le poussant et le rassurant et en répondant à toutes les affirmations du sujet. Cette attitude n'amena jamais plus qu'une simple réponse, si ce n'est rien.

Par exception, le patient a accru sa communication, d'un contenu plus amical, à six occasions. Chacune de ces occasions s'est produite dans les quarante secondes suivant la stimulation du point RP. La seule exception concerne l'excitation de ce point alors que la tension de stimulation avait changé. Les accroissements d'activité verbale furent rapides et brefs et sans aucun sens, ce qui était typique chez ce patient. L'évaluation quantitative et qualitative de la conversation du patient fut réalisée en analysant le compte-rendu écrit qui était tronçonné en séquences de 2 minutes d'entretien. Deux chercheurs l'évaluèrent indépendamment, sans connaissance du timing de l'examen et de l'emplacement des stimulations. La comparaison des deux minutes avant et après la stimulation a montré un accroissement de 17 à 88 mots et un plus grand nombre de remarques amicales passant de 6 à 53. Ces résultats étaient très significatifs et clairement spécifiques au point RP car aucun changement dans le discours ne fut détecté lors de la stimulation des autres points. Il était évident que les changements induits n'étaient pas liés à un changement de l'activité verbale, plutôt régulière de l'examineur. Il fut donc conclu que l'accroissement impressionnant de l'expression verbale et des remarques amicales était engendré par la stimulation d'un point spécifique dans le lobe temporal.

## Chapitre 15 – Hallucinations, souvenirs et illusions chez l'Homme

L'hallucination peut être définie comme une perception erronée en l'absence de stimulation des sens, et elle dépend probablement de deux processus: 1) le souvenir d'informations mémorisées 2) leur interprétation trompeuse, comme s'il s'agissait d'une expérience provenant actuellement des sens. On connaît peu les mécanismes cérébraux de l'hallucination. Néanmoins il semble que la région fronto-temporale est impliquée d'une manière ou d'une autre étant donné que sa stimulation par l'électricité induit des hallucinations.

Chez certains patients, la stimulation électrique des lobes temporaux a induit la perception de musique. Parfois c'était une musique connue et que le sujet fredonnait et parfois cela semblait être comme si un enregistrement ou la radio était diffusé dans la salle d'opération. Le son ne semblait pas être un souvenir mais bien l'entente réelle d'un orchestre ou des paroles d'une chanson (174). Ces hallucinations induites de manière artificielle n'étaient pas statiques mais elles se déroulaient lentement lorsque les électrodes étaient maintenues en place. Une chanson n'était pas entendue en entier d'un seul coup, mais du début à la fin. Des endroits familiers et des personnes bien connues, en train de parler étaient perçues dans un rêve.

Comme les souvenirs spontanés, les souvenirs induits par SEC peuvent faire revivre les émotions ressenties à l'époque de l'expérience d'origine, ce qui suggère que les mécanismes neuronaux conservent un enregistrement intégral du passé, incluant toutes les perceptions (visuelles, auditives, proprioceptives etc...) ainsi que le sens émotionnel de événements. La stimulation électrique n'activait qu'un souvenir sans réveiller aucun des autres enregistrements qui doivent être stockés à proximité. Ceci suggère l'existence d'un mécanisme d'inhibition réciproque qui permet le souvenir

ordonné de souvenirs précis sans être débordé par un flot ingérable d'informations stockées. La stimulation cérébrale n'a dans aucun cas induit deux expériences psychiques au même moment, et les réponses ont toutes été du type « tout ou rien ».

Chez l'un de nos patients, des hallucinations complexes ont été induites au cours de plusieurs jours par la stimulation de la pointe du lobe temporal. Le patient a rapporté: « Vous savez, je me sentais bizarrement, juste à ce moment ... puis d'un seul coup quelque chose d'autre m'est venu; ces personnes; la façon dont cette personne parlait. Ce couple marié; comme si le compagnon était entré dans mon esprit; comme s'il disait quelque chose comme si mon esprit dérivait une minute; vers quelque chose de fou... c'est comme s'il se donnait en spectacle; il disait quelque chose de bête. »

Le fait que la stimulation du lobe temporal peut induire des hallucinations complexes peut être considéré comme bien établi et se type de recherche permet une interaction significative de la neurophysiologie et de l'analyse psychique (133). Néanmoins, les mécanismes de l'hallucination induite, sont loin d'être clairs, et il est difficile de savoir si les expériences ressenties sont des créations à partir de la recombinaison d'éléments stockés en mémoire, du type des hallucinations psychotiques, ou si elles sont le revécu précis d'une expérience passée. Dans les deux cas, l'électricité appliquée ne crée pas une nouvelle expérience mais elle déclenche l'apparition ordonnée, au niveau conscient, d'éléments tirés du passé, mélangés dans certains cas avec des perceptions actuelles. Une des qualités les plus intéressantes de ce mécanisme est que les informations perçues sont un flux bien ordonné. Ceci nous informe sur la manière dont les informations sont stockées dans le cerveau. La mémoire ne semble pas enregistrer un seul élément, mais des ensembles d'événements reliés les uns aux autres, comme les perles d'un collier, et lorsque l'on retire une des perles, nous pouvons accéder à la suite de toutes les autres selon leur ordre. Si la mémoire est bien organisée d'une manière semblable, ceci nous évoque la chaîne des acides aminés qui forment les molécules de protéines et portent l'information génétique. La stimulation électrique peut accroître l'excitabilité globale des neurones, et les restes de souvenirs en mémoire, qui à ce moment donné ont un seuil (de re-souvenir) le plus bas, peuvent se trouver réactivés. Ils atteignent le niveau de la perception et constituent le contenu des hallucinations tout en inhibant les autres restes de souvenirs. L'excitabilité de chaque reste peut être modifiée par des facteurs environnementaux et particulièrement par les idées du patient avant la stimulation. En conséquence la stimulation électrique d'un même point peut produire un ensemble d'hallucinations qui sont différentes dans le détail mais qui ont des liens entre elles, comme ce fut le cas chez le patient étudié.

Toutes les informations sensorielles sont distordues lors du processus normal de leur interprétation, qui est en grande partie déterminée par les expériences passées et dépendent fortement de facteurs culturels. Un bébé qui regarde vers la lune va peut être tendre son bras pour l'attraper sans avoir conscience de la distance de cet astre. En comparant les expériences passées et présentes, nous apprenons à évaluer la distance, la taille, l'intensité et d'autres qualités des informations captées. Le mécanisme de ces évaluations ne semble pas déterminé génétiquement mais il est en rapport avec l'activité des neurones, qui peut être influencée par la stimulation directe du cerveau. Nous devons prendre conscience que notre seule manière d'être au contact du monde extérieur est la transformation d'événements physiques et chimiques provenant de notre environnement, en séquences électriques et chimiques, au niveau de nos récepteurs sensoriels. Le cerveau n'est pas en contact avec notre environnement mais avec le codage des informations sensorielles transmises à travers les chemins neuronaux. C'est dans les limites de nos propres distorsions de nos perceptions que s'établit notre vie « normale ». Au delà de ces limites la réalité distordue devient illusion. Les illusions apparaissent dans une grande variété d'états mentaux régressifs, lors des moments de forte anticipation et comme un signe avant-coureur de l'épilepsie. Une hallucination est une perception non réelle, en l'absence des informations sensorielles, alors que l'illusion nécessite une cause externe, qui est mal interprétée par l'individu. Il est utile de faire cette distinction qui sera bien mise

en lumière dans la suite du discours. Pourtant les termes sont souvent confondus.

Les phénomènes suivants ont été observés sur des patients: 1) les illusions (visuelles, auditives, de l'équilibre, de la mémoire, ou « déjà vu », l'impression d'être à distance ou d'irréel). 2) les émotions (solitude, peur, tristesse). 3) les hallucinations psychiques (mémoire saisissante, rêve aussi complexe que la réalité). 4) pensée forcée (des idées stéréotypées qui remplissent l'esprit).

Les trois premiers types de phénomènes ont été induit par diverses stimulations intra-cérébrales. L'effet le plus souvent constaté est l'illusion du déjà vu, qui est caractérisé par la surprise, l'interruption de la conversation, et l'expression habituelle que quelque chose déjà vécu vient de se produire. Par exemple, après la stimulation de la partie inféro-latérale d'un lobe frontal, un patient s'est soudain arrêté de répondre à l'examineur pour dire « Je me demande si – il me semble que quelqu'un d'autre m'a déjà posé cette question » Parfois la phrase en cours est d'abord terminée, mais le besoin d'exprimer l'expérience de déjà vu est toujours pressante. Cet effet est clairement perçu comme intrusif, sans être perturbant. Après plusieurs « déjà vu », le patient comprends la spécificité de ce phénomène et dit par exemple « Hé, ça recommence. Il me semble que quelqu'un m'a déjà dit cela. » La fiabilité de la réaction était remarquable, de même que la cohérence des propos rapportant cette expérience, qui étaient spontanés et la plupart du temps non sollicités. A chaque fois, la sensation de déjà vu concernait une remarque faite par le patient juste avant ou pendant la stimulation. Le sujet rapporté dans la sensation de déjà vu était différent à chaque simulation, mais toujours en référence à la conversation courante.

Le point commun était la sensation, exprimée par le patient, que les mots, les idées ou la situation étaient similaires à une expérience passée. Il n'y avait pas de perceptions nouvelles, mais uniquement l'interprétation de nouvelles informations sensorielles comme si elles étaient déjà connues. Il n'y avait pas d'anxiété ou de crainte lors de la perception de ces illusions, et l'effet apparent était une curiosité pour la chose, plutôt amusée, qui rendait le sujet plus vif et communicatif. Il était empressé de faire savoir que quelque chose de similaire venait de se répéter et le mot « avant » était utilisé la plupart du temps lorsque l'individu faisait état de cet événement. Ceci ne laissait aucune trace détectable. Après avoir fait état de cet expérience, le comportement du patient reprenait comme auparavant.

La connaissance des mécanismes cérébraux du fonctionnement psychique est tellement fondamentale qu'il ne serait pas intelligent de spéculer a propos des causes neuronales du déjà vu. Néanmoins, le fait que cette illusion peut être déclenchée de manière systématique, indique l'existence probable de fonctions d'interprétation dans une zone précise du cerveau et cela ouvre la voie d'études et d'expériences plus poussées concernant les informations sensorielles et la manière dont elles sont traitées par l'individu. Penfield suppose que le cortex du lobe temporal possède un système ganglionnaire qui est utilisé dans la qualification de la réalité perçue en ce qui concerne la distance, le son, la perception visuelle, l'intensité et le caractère étrange ou familier des sensations. Ce mécanisme serait relativement indépendant de ceux utilisés pour enregistrer les expériences vécues et pourrait être affecté par les malformations responsables de l'épilepsie ou par la stimulation directe du cerveau. Si nous acceptons cette hypothèse, nous pouvons sans doute affirmer que la modification artificielle de la physiologie chimique ou électrique du cerveau peut impacter fortement l'interprétation de la réalité, tout en restant en partie dépendante des expériences passées et de la structure personnelle.

## Chapitre 16 – Effets d'inhibition sur les animaux et les humains

L'existence de fonctions inhibitrices dans le système nerveux central a été décrit au cours du

XIX<sup>ème</sup> siècle par Sechenov (198), Pavlov (171) et d'autres pionniers de la physiologie russe. L'inhibition est un phénomène bien connu, qui a fait l'objet de plusieurs symposiums récents (14, 63, 77). Malgré son importance, la connaissance des mécanismes de l'inhibition n'est pas encore intégrée à la science et aucun chapitre ne lui est consacré dans la plupart des livres de référence en neurophysiologie, psychologie et pharmacie. Ce manque d'intérêt est étonnant car, comme l'a écrit Morgan (158) il y a 80 ans « lorsque les physiologistes auront résolu le problème de l'inhibition, ils seront en capacité de s'intéresser à la volonté » et les chercheurs contemporains affirment que l'inhibition et le choix, encore plus que l'expression et l'apprentissage sont les problèmes centraux de la psychologie (63). Un changement des centres d'intérêt des scientifiques semble nécessaire, afin de considérer le sujet de l'inhibition avec l'importance qu'il mérite. Le profane devrait aussi être conscient du rôle décisif de l'inhibition dans la réalisation de la plupart de nos activités quotidiennes.

Le son perçu dans un théâtre à l'entracte est un grondement continu sans signification. Par contre, lors du spectacle, les bruits et les conversations doivent être inhibés afin que la voix des acteurs puisse être entendue. Le cerveau est comme un théâtre monumental avec un grand nombre de millions de neurones capables d'envoyer des messages simultanément et dans plusieurs directions. La plupart de ces neurones s'activent en permanence, et leur sensibilité est telle qu'ils sont comme un énorme baril de poudre qui exploserait (c.a.d. une crise d'épilepsie) en l'absence des moyens de l'inhibition (122). Lors de la réalisation, bien organisée, des comportements, la plupart des neurones et des chemins neuronaux doivent rester silencieux afin de laisser les ordres significatifs circuler et atteindre leurs buts. L'inhibition est aussi importante que l'excitation pour le fonctionnement normal du cerveau et certaines structures sont dotées de fonctions spéciales d'inhibition. On doit donc s'attendre à ce que, en plus d'induire les diverses fonctions cérébrales déjà évoquées, la SEC puisse aussi bloquer leur manifestation en excitant les groupes de neurones qui ont pour fonction de les inhiber.

Le comportement est fondé sur le choix d'une voie d'action parmi plusieurs. Afin de penser nous devons opérer d'une manière ordonnée et réprimer les idées sans rapport avec le sujet. Pour parler nous devons sélectionner une séquence appropriée de mots et pour écouter nous devons extraire certaines informations sonores du bruit de fond. Comme l'a dit Ashby, nous devons « nous débarrasser une fois pour toutes de l'idée ... que plus il y a de communication dans le cerveau, mieux c'est » (6). Comme nous l'avons appris de notre expérience personnelle, un des problèmes de la civilisation moderne est la confusion engendrée par une saturation d'informations sensorielles. Nous sommes assaillis au niveau visuel et auditif par la littérature scientifique, les médias d'informations, la propagande, les publicités. Nous nous défendons en inhibant le traitement des stimuli sensoriels. L'inhibition consciente et inconsciente du comportement ne devrait pas être considérée comme un processus passif mais comme une restriction active. C'est comme tenir ferme les rênes d'un puissant cheval. Nous évitons les manifestations désordonnées de nos énergies et de nos potentiels.

Au cœur du système nerveux central, le système réticulé semble avoir pour rôle spécifique de moduler ou inhiber la réception des informations sensorielles. Quelques autres structures incluant le thalamus, le septum et le noyau caudé ont aussi des capacités inhibitrices importantes, qui peuvent être activées par SEC. Ces types de processus inhibiteurs peuvent être induits par SEC: 1) le sommeil, qui commence en général doucement et peut être facilement interrompu par la stimulation des sens. 2) inhibition généralisée, qui touche l'ensemble du corps, débute dès que la stimulation est appliquée et persiste malgré la stimulation des sens. 3) l'inhibition spécifique, qui apparaît immédiatement, ne concerne qu'un type particulier de comportement, tel que l'agression ou la consommation de nourriture, et peut être ou ne pas être modifiée par la stimulation des sens.

Un exemple de sommeil induit par SEC du cerveau d'un singe est visible sur l'illustration 18. Après

30 secondes de stimulation de l'aire septale les yeux de l'animal ont commencé à se fermer, se tête s'est abaissée, son corps s'est détendu et il a parut tomber dans un état naturel de sommeil. L'animal réagissait à des sons ou au toucher en ouvrant lentement les yeux pour regarder autour de lui, sans expressivité, pendant quelques secondes avant de retomber dans son sommeil. Des résultats similaires ont été obtenus sur des singes stimulés par radio. Dans ce cas, l'effet était une baisse graduelle de l'activité spontanée et les animaux se mirent à somnoler, fermant leur yeux et prenant une posture typique du sommeil avec la tête basse et le corps courbé sur les genoux. En théorie il devrait être possible de traiter l'insomnie chronique par la stimulation du cerveau, ou de créer une horloge biologique artificielle réglant l'activité et le repos par le moyen d'une stimulation programmée des aires d'excitation et d'inhibition du cerveau. Mais relever ce déficit nécessite encore des recherches.

Le blocage des mouvements est un effet impressionnant consistant en une immobilisation soudaine de l'animal d'expérience en pleine action, qui reprend son activité dès que la stimulation prends fin. C'est comme si un film était arrêté, figeant le sujet dans une position. Un chat qui lapait du lait a été immobilisé avec sa langue pendante et un chat grimpant un escalier a été stoppé entre deux marches.

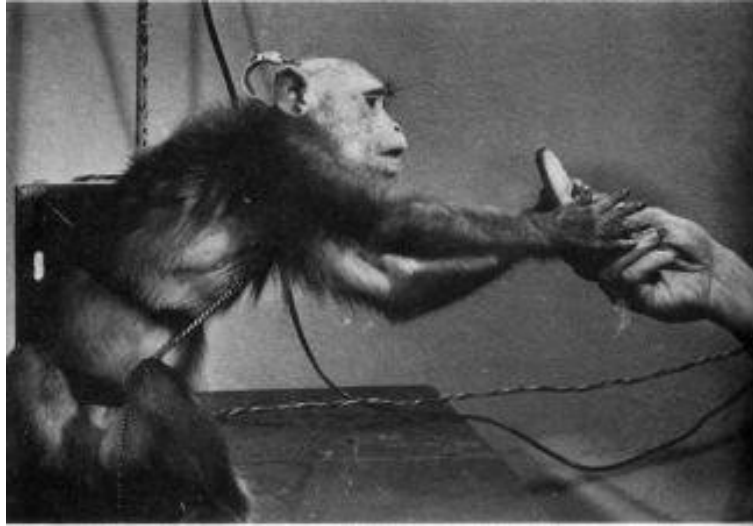
D'autres types d'inhibitions sont plus spécifiques et limitées à un seul type de comportements. La prise de nourriture, l'agressivité, la territorialité et le comportement maternel en sont des exemples. Etant donné que ces activités impactent l'activité général de l'animal, il peut être difficile de s'en rendre compte si les conditions expérimentales ne sont pas correctement préparées. Evidemment l'inhibition de l'appétit ne peut pas être mis en évidence en l'absence de nourriture, de même que le changement de comportement maternel en l'absence de petits.



*Illustration 18: Le sommeil induit par stimulation électrique du cerveau est similaire au sommeil spontané. Ci-dessus, le contrôle. Ci-dessous, le singe s'endort sous l'effet de la SEC.*



L'illustration 19 présente un exemple d'un singe qui s'endort sous l'influence de la stimulation cérébrale. Normalement l'animal montre un grand intérêt à la vue d'une banane. Il se penche vers elle et la dévore avec un plaisir évident. Pourtant, son appétit est inhibé dès que l'on stimule électriquement son noyau caudé. Alors le singe regarde la banane avec quelques intérêt, sans chercher à l'atteindre et il peut même détourner son visage, ce qui exprime clairement son refus .





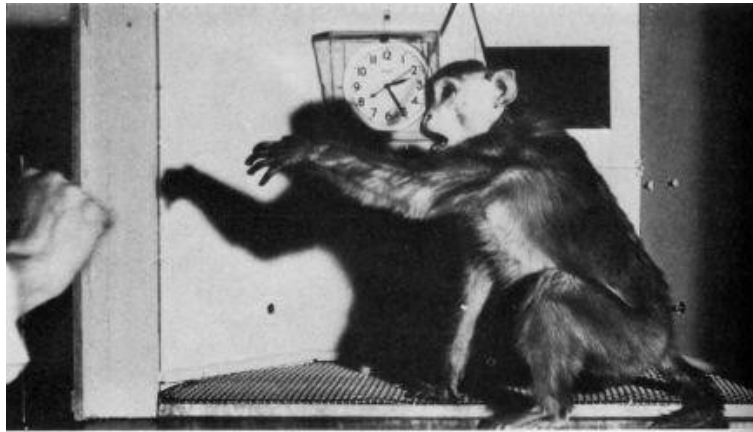
*Illustration 19: La réaction normale d'un singe est d'étendre son bras et son corps pour prendre la banane qu'on lui offre (au haut). L'appétit est immédiatement inhibé par la stimulation du noyau codé (image suivante). Le singe n'est pas intéressé par la nourriture (ci-dessus) et se détourne même du fruit (53). Photo: Erick Schaal.*

Pendant la stimulation l'animal est bien conscient de son environnement, il réagit normalement aux bruits, aux objets en déplacement et aux menaces, mais il ne s'intéresse pas à la nourriture. S'il est stimulé alors qu'il a la bouche pleine, il stoppe immédiatement de mastiquer, retire la banane de sa bouche et la jette.

A proximité des zones inhibitrices de la faim, il existe une zone qui est impliquée dans l'inhibition de l'agressivité. Lorsque cette partie du noyau caudé est stimulée (illustration 20), le macaque rhésus, au comportement normalement féroce, devient tranquille et au lieu de saisir, griffer et mordre tous les objets à s'approchant de lui, il s'assoit paisiblement et l'expérimentateur peut toucher sa bouche et le soigner sans risques. Pendant tout ce temps, l'animal est conscient de l'environnement, mais il a tout simplement perdu son irritabilité habituelle. Ceci montre que la violence peut être inhibée sans rendre l'animal somnolent ou déprimé. L'identification des zones cérébrales responsables de la férocité pourrait amener à la possibilité de bloquer leur fonctionnement et diminuer l'agressivité naturelle sans impacter la vivacité du comportement.

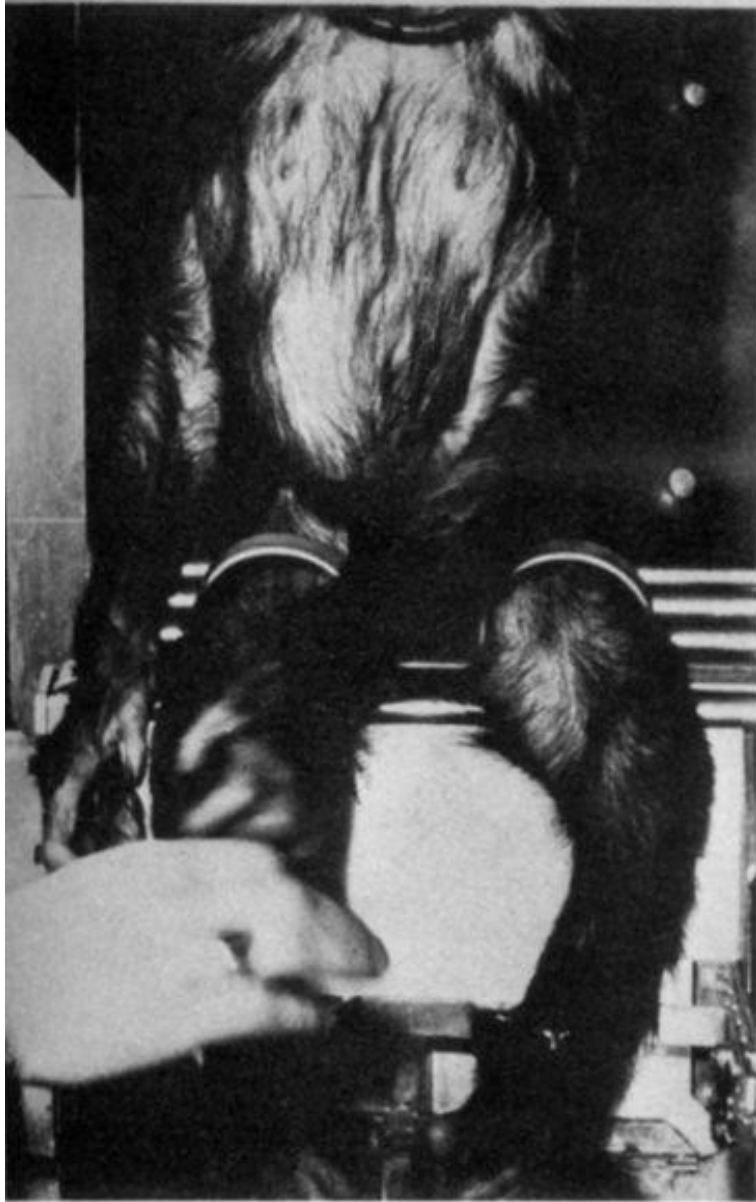
Des résultats similaires ont été obtenus chez le chimpanzé (illustration 19). Le chimpanzé Carlos était affectueux. Il adorait jouer avec les chercheurs et avait appris toutes sortes d'astuces tel que lancer et recevoir une balle. Motivé par une récompense de nourriture, il se laissait volontiers

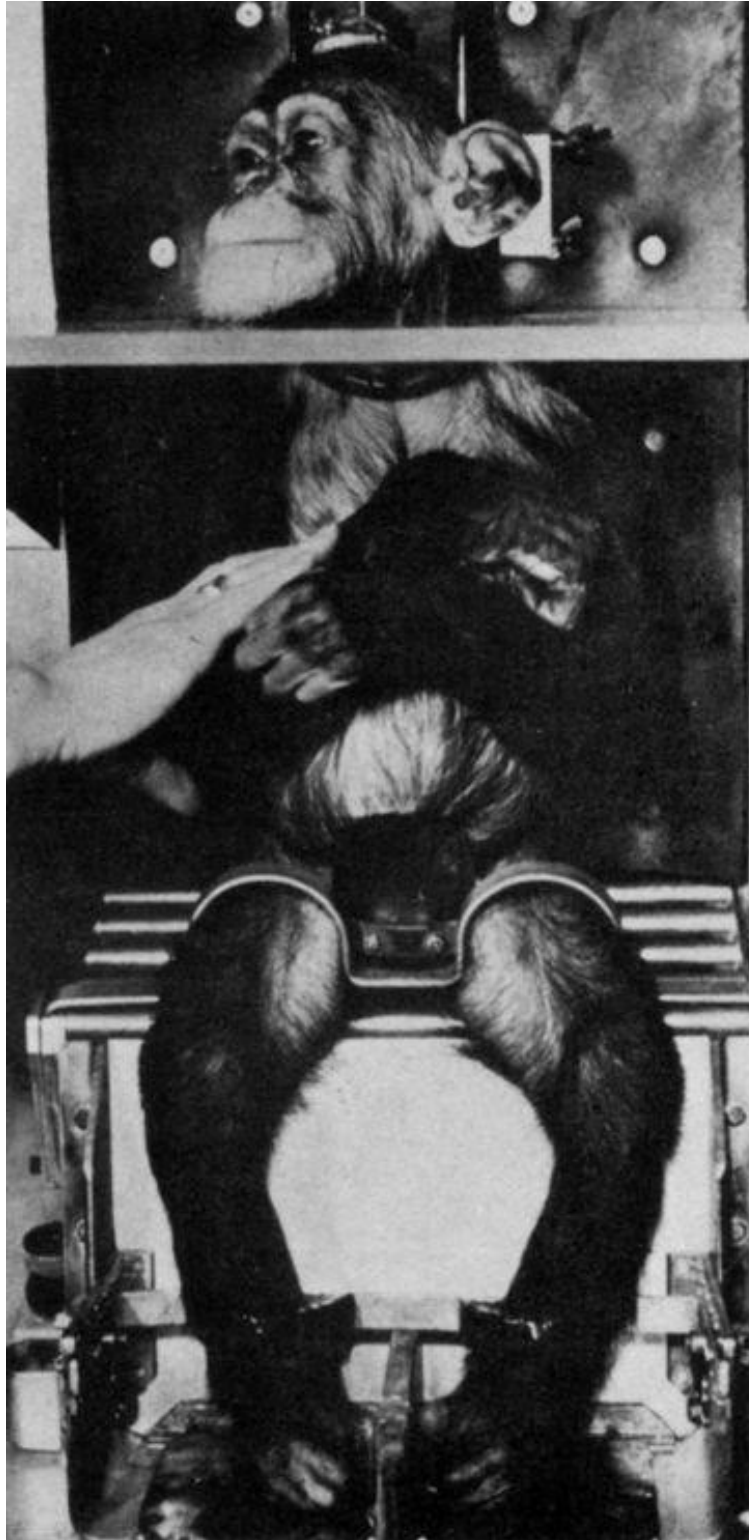
attacher sur un fauteuil d'examen pour réaliser des expériences et des enregistrements.



*Illustration 20: Les singes rhésus sont habituellement féroces et lancent souvent des attaques, en essayant de saisir et de mordre l'observateur (ci-dessus). Cette férocité est inhibée pendant la stimulation du noyau codé. Il n'y a plus de risque à touche l'animal, qui tend ses bras pour joindre les mains de l'observateur sans faire aucun gestes menaçants.*







*Illustration 21: Le chimpanzé Carlos réagit de manière offensive-défensive lorsqu'il est touché par un étranger. Pendant la stimulation du noyau codé le chimpanzé est inhibé et peut être taquiné sans que cela induise une réaction*

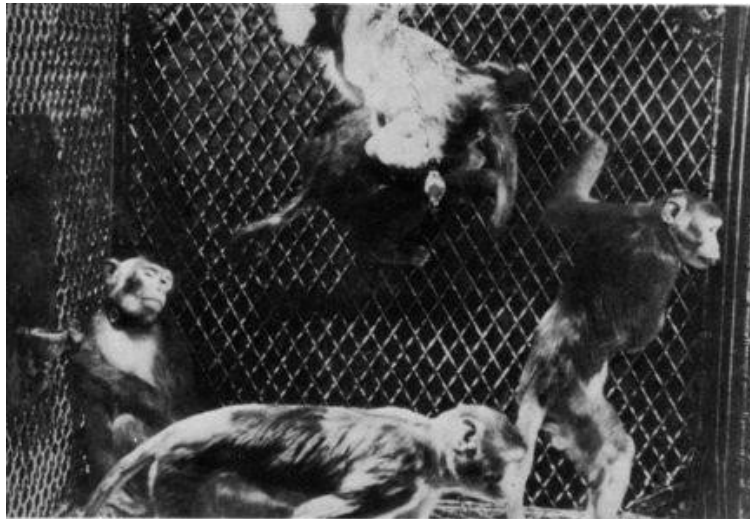
Comme la plupart des chimpanzés Carlos était plutôt capricieux et facilement poussé à la colère lorsqu'il était puni, frustré ou simplement taquiné. Il aimait être touché par des personnes connues mais pas par des étrangers. L'illustration 21 gauche montre sa réaction de défense, anxieuse, lorsqu'il était approché par un examinateur inconnu. Les manifestations de sa peur et son agressivité étaient néanmoins totalement inhibées pendant la stimulation électrique du noyau caudé ( voir l'illustration 21 droite). Dans ce cas, l'animal ne manifestait pas d'émotion, semblait pacifique et pouvait être taquiné sans effets.

D'autres expériences menées sur des singes ont confirmé les possibilités de pacification grâce à la SEC. Au sein de la structure autocratique des colonies de singe, le dominant jouit de nombreux privilèges, il choisit ses partenaires femelles, se nourrit en premier, fait déplacer les autres animaux et occupe la plus grande partie de la cage pendant que les autres singes évitent sa proximité et se regroupent dans un coin opposé (voir illustration 22). Cette position hiérarchique est maintenue grâce à des gestes et des postures subtiles: un dominant peut regarder fixement un dominé alors que celui-ci ne lancera que quelques regards furtifs à son supérieur et le dominant peut frapper le sol et menacer en ouvrant la bouche ou en poussant un cri d'alerte si un dominé ne garde pas une distance raisonnable. Cette domination sociale a été abolie par des stimulations de 5 secondes toutes les minutes pendant une heure appliquées au noyau caudé du singe dominant. Pendant cette durée, l'expression faciale du singe est apparue plus pacifique aux examinateurs ainsi qu'aux autres animaux, qui se mirent à se déplacer librement dans la cage sans observer leur respect habituel. Dans les faits ils ignoraient le dominant, et se regroupaient autour de lui sans peur. Pendant l'heure de stimulation, la domination territoriale disparut complètement, son temps de marche à diminué, et il n'a pas eu d'actes menaçants ou agressifs envers les autres singes de la colonie. Il était évident que ce changement de comportement avait été induit par la SEC car environ 10 minutes après le fin de la stimulation, le dominant avait réaffirmé son autorité et les autres animaux le craignaient comme avant. Sa territorialité était à nouveau bien établie et il jouissait de ses privilèges coutumiers.

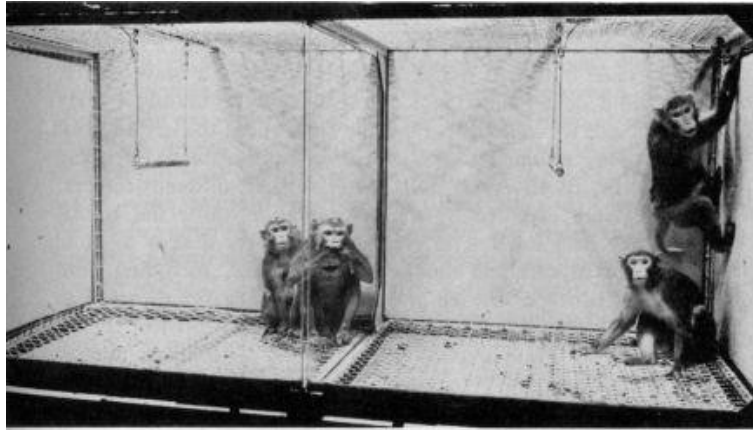
Le vieux rêve d'un individu renversant un dictateur par commande à distance a été atteint, du moins au sein de cette colonie de singes, par une combinaison de neurochirurgie et d'électronique, ce qui montre les possibilités de manipulation de l'organisation hiérarchique au sein d'une même espèce animale. L'illustration 23 montre que le singe Ali, le chef, puissant et de mauvais caractère, d'une colonie, montrait souvent son hostilité en mordant sa main et en menaçant les autres membres. La stimulation radio du noyau caudé de Ali a bloqué son agressivité naturelle avec une telle efficacité que l'on pouvait prendre l'animal dans sa cage sans difficulté ni danger. Puis on a placé un levier sur la mur de la cage. Sa pression permettait de déclencher une stimulation radio de 5 secondes du noyau caudé d'Ali. De temps en temps certains singes dominés touchaient le levier qui se trouvait situé près du plateau d'alimentation, ce qui déclenchait la stimulation d'Ali. Une femelle singe, nommée Elsa a rapidement découvert que l'agressivité de Ali pouvait être inhibé en appuyant sur ce levier, et lorsque Ali la menaçait, on a noté à plusieurs reprises que Elsa réagissait en appuyant sur le levier. Son regard direct vers le dominant était très significatif car un singe dominé n'oserait pas agir de la sorte, de peur de représailles immédiates. Le nombre d'actes agressifs d'Ali diminua les jours ou l'on avait placé le levier et bien que Elsa ne devint pas l'animal dominant, elle fut responsable d'avoir bloqué beaucoup d'attaques contre elle et d'avoir maintenu une coexistence pacifique dans l'ensemble de la colonie.



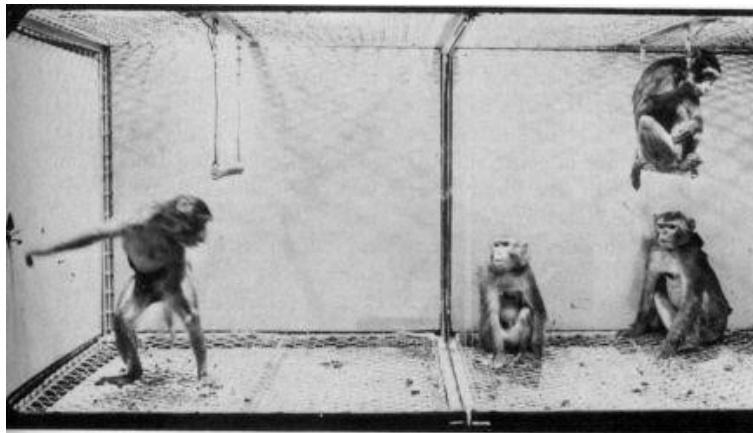
*Illustration 22: Colonie de singes en société autocratique dans laquelle la territorialité du singe dominant est clairement visible. Il occupe plus de la moitié de la cage (ci-dessus). La radio-stimulation d'une aire inhibitrice du cerveau (c-dessous) modifie l'expression faciale du chef, et les autres singes se rapprochent sans peur de leur ancien chef.*



L'apaisement de l'agressivité naturelle a aussi été démontrée chez des espèces animales qui ont été élevées depuis des générations pour augmenter leur comportement agressif: le taureau de combat. Certaines races de taureau ont été sélectionnées génétiquement pour leur agressivité supérieure, exactement de la même manière que d'autres l'ont été pour leur capacité de travail ou leur qualité bouchère. Les taureaux de combat sont plus forts et plus agiles que leurs congénères plus dociles. Cette différence doit pouvoir être confirmée au niveau neurophysiologique par plusieurs mécanismes de réaction.



*Illustration 23: Ci-dessus, Ali, le chef de la colonie, exprime son mauvais caractère en mordant sa propre main. Ci-dessous, Elsa, un singe soumis, a appris à appuyer sur un levier qui déclenche la stimulation radio de Ali, ce qui inhibe son comportement agressif (51).*

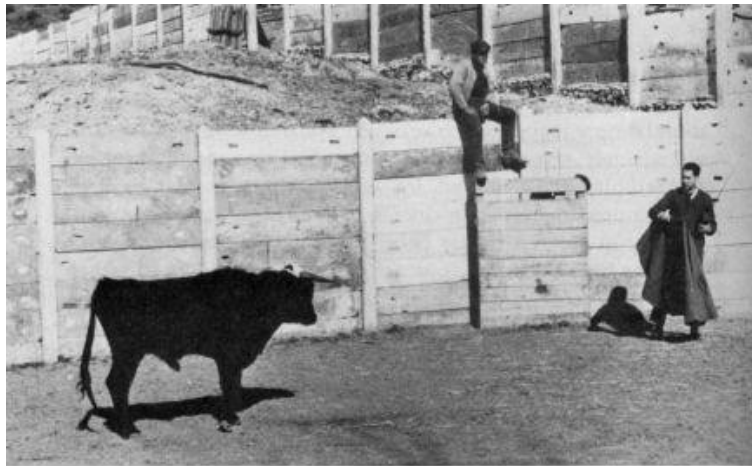


La vue d'une personne est neutre pour le taureau docile, alors qu'elle déclenche une attaque mortelle du taureau de combat. Si nous pouvions détecter les différences fonctionnelles dans le cerveau de ces deux variétés de taureau, nous pourrions découvrir les indices des fondements neurologiques de l'agression. C'est pour cela que nous avons implanté des électrodes dans le cerveau de plusieurs taureaux. Suite à la chirurgie, plusieurs points du cerveau furent testés par stimulation radio sur les taureaux en liberté au sein d'un enclos. Les effets moteurs induits étaient similaires à ceux observés sur le chat et le singe, y compris la rotation de la tête, le levé d'une patte et la marche en cercle. La vocalisation fut souvent déclenchée. Lors d'une expérience spécifiquement conçue pour vérifier la fiabilité de cette stimulation, deux beuglements ont fait suite à deux stimulations d'un point précis.

On a aussi démontré que la stimulation du cerveau a induit une inhibition du comportement agressif et un taureau en pleine charge a pu être stoppé d'un coup, comme cela est illustré par l'illustration 23. Le résultat semblait être une combinaison d'effets moteurs (forcer l'arrêt du taureau et de s'orienter vers un côté), et de l'inhibition de l'instinct d'agression. Suite à des stimulations répétées, ces animaux étaient moins dangereux et ils toléraient la présence des examinateurs dans l'enclos, sans lancer aucune attaque, pendant quelques minutes.

Le comportement maternel est un des instincts les plus répandus chez les mammifères. Un petit de singe rhésus profite des premiers mois de sa vie en restant blotti dans les bras de sa mère, qui passe la plupart de son temps à le cajoler, le soigner, l'épouiller et à s'occuper de lui. S'ils sont séparés de

force, la mère devient très perturbée et elle exprime son anxiété en rôdant infatigablement, en menaçant les spectateurs et en appelant son petit d'un son particulier, tel un roucoulement. Son petit, anxieux de retrouver la protection maternelle, lui répond immédiatement. Ce lien puissant peut être inhibé par SEC. Ceci a été montré sur une colonie de singes constituée de Rose, Olga et leurs petits, respectivement Roo et Ole, plus un singe mâle. L'affection maternelle s'exprimait normalement malgré l'implantation des électrodes sur les deux femelles (illustration 25). Le petit Roo semblait plutôt désorienté et cherchait refuge et chaleur auprès de l'autre femelle, Olga, qui acceptait les deux petits sans problèmes. Plusieurs effets moteurs induits par SEC (par exemple la rotation de la tête ou le flexion d'un bras) n'ont pas interrompu le relation mère-enfant. Mais lorsque une stimulation de 10 secondes du mésencéphale de Rose fut appliquée, ceci déclencha une attitude agressive, accompagnée d'un déplacement rapide dans la cage et la morsure de la main, la jambe ou du flanc. Pendant les 8 ou 10 minutes qui ont suivi, l'instinct maternel fut interrompu et Rose perdit tout intérêt envers son petit, ignorant ses appels tendres et rejetant ses tentatives d'approche. Environ 10 minutes après la stimulation, Rose reprit son comportement maternel et accepta Roo dans ses bras. Cette expérience fut répétée plusieurs fois sur plusieurs jours avec les mêmes résultats. On peut donc conclure que le comportement maternel dépend d'une manière ou d'une autre du fonctionnement des structures du mésencéphale et qu'une brève stimulation électrique de cette zone peut bloquer l'instinct maternel pendant plusieurs minutes.





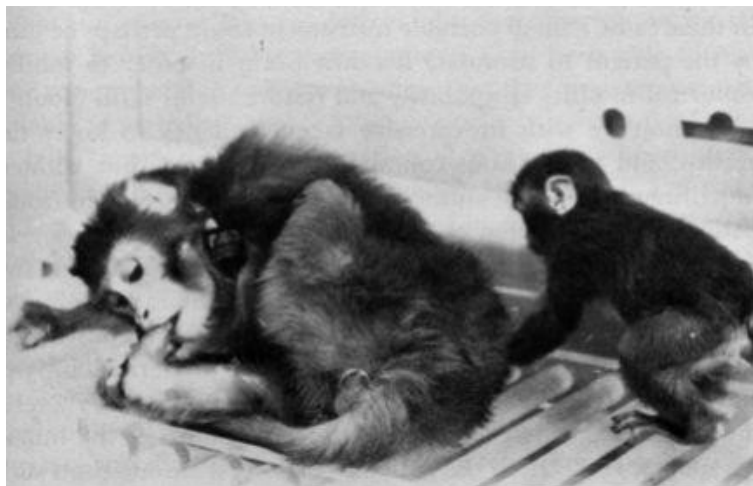
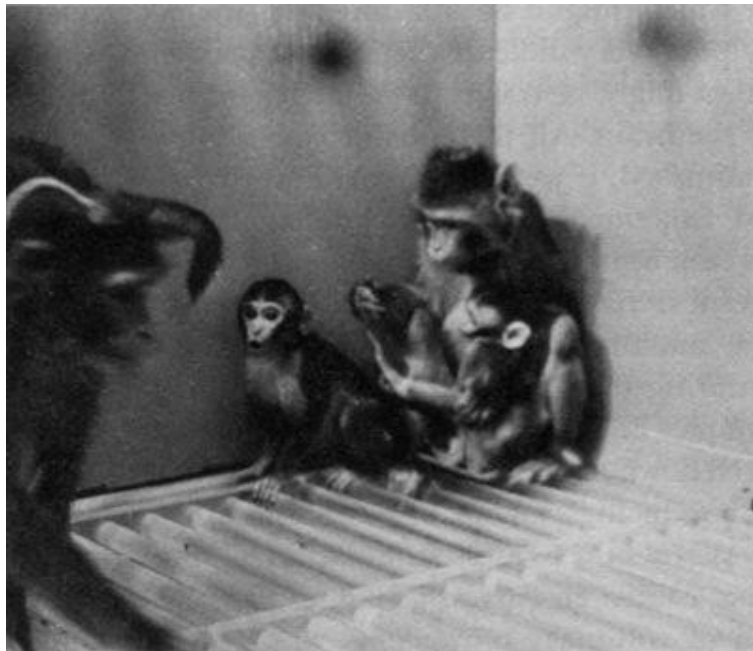
*Illustration 24: Les taureaux de combat sont des animaux dangereux qui attaquent tout intrus dans l'arène. Cet animal peut être stoppé en pleine charge par la radio-stimulation de son cerveau. Après plusieurs stimulations, l'inhibition du comportement agressif perdure.*



*Illustration 25: Ci-dessus, le comportement maternel est tendrement exprimé par les deux mères Rose et Olga, qui cajolent, épouillent et soignent leurs bébés Roo et Ole. Ci-dessous, la radio-stimulation de Rose pendant 10 secondes dans le mésencéphale induit une rage exprimée par le fait qu'elle se mord elle-même et abandonne son petit, Roo.*



*Pendant 10 minutes Rose a perdu son instinct maternel. Elle ignore les appels de Roo, qui va chercher refuge auprès de l'autre mère.*



*Rose suce son pied et ignore toujours son petit.*

Notre connaissance des effets d'inhibition induits par la SEC sur les humains est plus limitée que celle des effets induits sur les animaux. Elle est pourtant de grande importance puisque le premier objectif d'une thérapie, chez l'homme, est d'inhiber les sensations indésirables et l'excès d'activité neuronale. Certains patients souffrent d'une sorte de « douleur irréductible », qui résiste aux médicaments analgésiques, mais qui pourrait être bloquée par intervention directe sur les structures cérébrales dans lesquelles les sensations atteignent le niveau de la conscience. Des maladies comme celle de Parkinson ou la chorée sont caractérisées par des mouvements involontaires constants provoqués par des décharges neuronales provenant de structures cérébrales spécifiques qui pourraient être inhibées par une thérapie adaptée. Les comportements d'attaque constituent un des symptômes les plus perturbant d'un ensemble de maladies mentales. Ils sont probablement liés à une réactivité anormale des zones limbiques et réticulées du cerveau. L'épilepsie est causée par une explosion de décharges électriques qui pourraient être inhibées à leur source. L'anxiété est très difficile à traiter. Ces mécanismes peuvent être liés à un accroissement de réactivité de zones spécifiques du cerveau. Toutes ces perturbations pourraient être soignées, ou au moins diminuées, si nous avions une meilleure connaissance de leurs fondements anatomiques fonctionnels et si nous pouvions inhiber l'activité des neurones responsables de ces phénomènes.

Des avancées importante dans ce domaine peuvent être attendues dans un futur proche. Nous avons déjà des résultats d'essais cliniques montrant que la SEC peut induire des inhibitions chez l'homme. Par exemple, la SEC appliquée à l'aire supplémentaire du cortex moteur peut réduire, voir stopper l'activité motrice volontaire sans entraîner de douleur ou de perte de conscience (174). Dans d'autres cas, la stimulation de la zone fronto-temporale a causé un « comportement d'arrêt caractérisé par un arrêt soudain des mouvements volontaires, qui peut être suivi d'une confusion, d'un discours inadapté ou tronqué, un changement clair d'humeur » (128, 186). Il est encore plus intéressant, du point de vue des thérapeutiques, de noter que des mouvements sur-actifs, anormaux, ont été inhibés pendant la durée de la SEC, permettant aux patients de réaliser des actions précises qu'ils n'auraient pas pu réaliser autrement. Dans ces cas, un petit appareil portable pourrait peut-être servir aux patients à stimuler leur propre cerveau dans le but d'inhiber leur mobilité anormale et de restaurer des capacités utiles (160).

La SEC du fornix et du thalamus ont entraîné une somnolence, le tendance à baisser les paupières et des plaintes de se sentir endormi, mais sans altération de la conscience (7, 199). Dans certains cas, un sommeil accompagné de rêves agréables a été induit et parfois le sommeil ou le réveil ont pu être induit depuis le même point dans le cerveau, selon le fréquence basse ou haute de la stimulation (96, 229). Une diminution de la conscience, un manque de sagacité, une altération de la capacité de penser ont été observés par plusieurs examinateurs lors de l'excitation de plusieurs points situés dans le système limbique (74, 120). Les patients se mettaient souvent à agir de manière automatique, par exemple en se déshabillant ou en fouillant quelque chose, sans se rappeler cet incident par la suite. Certains de nos patients ont dit qu'ils avaient ressenti comme si leur esprit s'était vidé ou comme s'ils avaient bu beaucoup de bière. Ces résultats indiquent que la conscience peut être liée à des mécanismes spécifiques situés dans des zones précises du cerveau, car ceci est en contraste avec le fait que le patient reste pleinement conscient lorsque l'on stimule d'autres zones du cerveau.

L'arrêt de la parole a été l'inhibition la plus souvent induite lors de la SEC du cerveau humain (8). Ce fait est probablement dû à la présence extensive des zones liées à la parole dans les lobes temporaux et aussi à la facilité de constater l'expression verbale lors des entretiens. L'effet le plus typique est l'incapacité à compter. Par exemple, une de nos patientes devait compter les nombres entiers en croissant à partir de 1. Arrivée au nombre 14, la SEC fut appliquée et la parole s'est immédiatement interrompue, sans changement de la respiration ou de l'expression faciale et sans anxiété ou peur. Lorsque la stimulation a cessé quelques secondes plus tard, la patiente a repris immédiatement le décompte. Elle dit qu'elle ne savait pas pourquoi elle s'était arrêté. Bien qu'elle ait entendu l'examineur l'encourager à reprendre le décompte, elle était incapable de parler. Si la même stimulation était appliquée alors que la patiente était silencieuse, aucun effet n'était visible à un observateur ni par la patiente elle-même. Dans d'autres cas, les patients ont été capables de lire et de comprendre, ou d'écrire des messages qu'ils étaient temporairement incapable de dire (200).

Il est connu que l'activation des zones du plaisir par SEC peut inhiber la douleur chez l'animal (42, 146). Des résultats similaires ont aussi été rapportés en ce qui concerne l'homme, avec un soulagement immédiat de la douleur lorsque l'on stimule l'aire septale (98). De fait de la multiplicité des voies neuronales qui peuvent transmettre les sensations désagréables, il est souvent impossible de toutes les bloquer et d'éliminer des souffrances insupportables. Il est donc plus aisé d'inhiber les structures cérébrales impliquées dans l'évaluation psychique de la douleur, en bloquant la composante d'anxiété et en diminuant la perception subjective désagréable.

Il existe aussi certains rapports indiquant qu'une violence anormale peut être réduite par SEC: Heath nous a montré un film concernant un patient qui s'auto-stimulait pour supprimer une humeur agressive lorsqu'elle apparaissait. Nous avons décrit le cas d'un patient souffrant de crises de

comportement asocial pendant lesquelles il s'en prenait à sa famille, dont l'état fut amélioré par la stimulation répétée du noyau de l'amygdale (60).

Nous ne sommes qu'au début de la connaissance expérimentale des mécanismes du comportement chez l'animal et chez l'homme, mais leur existence a déjà été bien affirmée. Il est clair que des manifestations aussi importantes que la réaction agressive, dépendent non seulement de circonstances environnementales mais aussi de leur interprétation par le système nerveux central où elles peuvent être amplifiées ou totalement inhibées en influençant la réactivité de certaines structures cérébrales.

La violence, y compris sa manifestation extrême, la guerre, est déterminée par un ensemble de facteurs économiques et idéologiques. Mais nous devons prendre conscience que les élites qui prennent les décisions ainsi que les individus qui obéissent aux ordres et portent une arme, fonctionnent grâce à un ensemble de signaux électriques intra-cérébraux qui peuvent être inhibés par d'autres signaux opposés, provenant d'aires cérébrales telles que le noyau caudé. Les zones inhibitrices du système nerveux central peuvent être activées par SEC ainsi que par l'impact physiologique des informations sensorielles qui apportent des messages, des idées et des comportements. La réception d'informations depuis l'environnement provoque des changements électriques et chimiques dans la substance du cerveau et les stimulations modèlent les caractéristiques fonctionnelles de l'interprétation personnelle et de l'intégration. Ceci détermine le niveau et la qualité des réactions de l'individu. Les relations humaines ne vont pas être commandées par des électrodes, mais elles pourraient être mieux comprises si nous considérons non seulement les facteurs environnementaux mais aussi les mécanismes cérébraux responsables de leur réception et de leur élaboration.

## Partie IV – Evaluation du contrôle par stimulation électrique du cerveau.

### Chapitre 17 - Evaluation du contrôle par stimulation électrique du cerveau.

Le cerveau contrôlant toutes les activités corporelles et mentales, la SEC pourrait devenir le moyen de contrôle suprême des comportements humains par le moyen de projets et d'équipements issus de l'homme. Dans les sections précédentes nous avons décrit la méthodologie de stimulation du cerveau et beaucoup d'effets induits. Cette section explique la signification des résultats obtenus, les mécanismes impliqués, les limites attendues et les problèmes auxquels doivent faire face les chercheurs. Quelle est la part artificielle et la part physiologique de l'activation des neurones par la SEC? Est-elle prédictible? Qui doit être tenu responsable des actes commis sous l'influence de la SEC, le sujet d'expérience ou bien le chercheur? Quels sont les bénéfices et les risques que l'ont peut attendre? Peut-on modeler la perception et l'expression par SEC? Peut-on espérer que l'exploration du cerveau par ce moyen va nous amener à une nouvelle conception de l'esprit humain? Le chercheur doit affronter ces questions, et bien d'autres, lorsqu'il envoie des messages radio pour provoquer la contraction d'un muscle, l'accélération du coeur, ou une sensation. L'évaluation de ces expériences nécessite de formuler les concepts théoriques appropriés et les hypothèses de travail.

#### *La stimulation électrique du cerveau (SEC) déclenche des mécanismes physiologiques*

La SEC est en fait un procédé plutôt grossier, fondé sur l'envoi d'un simple train d'impulsions non modulées, non codées, sans signification particulière et sans capter d'informations en retour depuis les neurones qui, par chance, sont situés dans le champs électrique artificiellement créé par la stimulation. Les caractéristiques spatio-temporelles et la complexité des relais synaptiques, les délais de propagation et les corrélations convergentes et divergentes ne sont pas non plus considérés. La tension électrique de plusieurs volts habituellement employée en SEC est des centaines de fois supérieure aux potentiels naturellement présents dans l'activité neuronale, qui se mesurent en millivolts.

Il est donc raisonnable que des doutes aient été exprimés en ce qui concerne le caractère normal des réactions obtenues sous SEC. Il est difficile de comparer l'activité normale avec les effets induits par SEC, si l'on considère les complications de l'intervention d'implantation, les conditions artificielles de l'expérimentation et le manque de précision de la SEC (4). « La stimulation électrique, à la différence des excitations physiologiques, affecte tous les éléments ayant des seuils de réaction comparables, qui se trouve dans la rayon d'action des électrodes » (107), et, dans la majorité des cas, la stimulation corticale « n'a pas réussi à induire autre chose que des fragments de mouvements habiles » (224). Cobb (33) considère comme beaucoup trop simpliste la croyance parmi les personnes qui n'ont pas la formation nécessaire en physiologie, que la stimulation électrique d'un nerf ou du cerveau ressemble à la stimulation neuronale normale. En fait la stimulation électrique produit bien peu d'effets qui ressemblent aux effets normaux.

Il est parfaitement vrai que beaucoup de réactions induites par SEC sont de simples contractions de petits groupes de muscle, sans coordination, sans habilité ni but apparent et que beaucoup d'effets induits ont des caractéristiques bien loin de l'harmonieuse élégance de actions volontaires. Il n'en est

pas moins vrai que, grâce au développement des technologies permettant de stimuler les sujets « libres », beaucoup des réactions obtenues, aussi bien chez les animaux que chez l'homme, ne peuvent être distingués de réactions spontanées. Des comportements ordonnés, l'activité sexuelle, la nutrition, la marche, le bâillement, le combat et beaucoup d'autres effets qui ont été présentés ci-avant, montrent clairement que la SEC peut induire des activités bien coordonnées, habiles, motivées, raffinées et complexes. Les patients ont acceptés les modifications induites de leur psychologie, telle que l'augmentation de la sympathie, comme des manifestations de leur propre personnalité et non comme des effets artificiels induits par les expériences. La question n'est pas de savoir si l'application de paquets grossiers d'impulsions électriques sans signification peut induire des réactions très raffinées et complexes, mais de savoir comment?

Pour comprendre cette contradiction apparente nous devons considérer les mécanismes physiologiques normaux. Un acte simple, comme la flexion d'un membre, est due à une impulsion électrique qui initie un processus très complexe incluant des activités métaboliques bien organisées et ordonnées et des changements dans la structure des myoprotéines, impliquant le raccourcissement des fibres musculaires. Ces processus ne dépendent pas de l'impulsion neuronale. Ils sont définis génétiquement comme des fonctions internes des tissus musculaires, qui se manifestent d'une manière similaire que ce soit suite à une commande naturelle des nerfs ou une stimulation électrique. L'électricité ne crée pas la contraction des muscles, elle active simplement une séquence prédéfinie d'actions. Au niveau neurologique, la flexion d'un membre nécessite la propagation de beaucoup d'impulsions bien organisées depuis le cerveau vers les divers groupes de muscles, le traitement des sensations proprioceptives obtenus depuis plusieurs organes, l'ajustement des servomécanismes, l'adaptation des viscères, et bien d'autres phénomènes électriques, thermiques, chimiques, mécaniques et physiologiques et de leurs corollaires. L'électricité ne fait que déclencher, par dépolarisation, l'activation d'un groupe de neurones. Ceci enclenche des processus qui sont relativement indépendants de la cause de leur déclenchement. Les comportements induits sont comme une réaction en chaîne dont le résultat final dépend plus de la structure et de l'organisation de ces éléments que de son déclencheur. Afin de comprendre le rôle de la SEC, comparons le à celui du doigt qui appui sur le bouton qui va mettre un homme en orbite. Il déclenche la mise en oeuvre d'une machinerie complexe, mais évidemment le doigt ne fait que donner un simple signal qui déclenche un programme d'évènements indépendants et il ne peut pas être vu comme la cause réelle du vol de la capsule spatiale.

La théorie de la fragmentation des comportements tente d'expliquer certains mécanismes impliqués dans les activités motrices. Cette théorie affirme que le comportement est organisé en fragments qui ont une réalité anatomique et fonctionnelle dans le cerveau, où ils peuvent être analysés expérimentalement. Les fragments peuvent être organisés en diverses séquences, comme les notes d'une mélodie, qui commandent des successions d'actes moteurs regroupés par types de comportements tels que ceux de lécher, grimper ou marcher. L'exemple suivant permet de clarifier cette théorie. Si je souhaite prendre un biscuit sur la table, je suis animé d'un désir que l'on peut appeler « le déclencheur », car il va initier une succession d'actes moteurs. Le déclencheur inclut les instincts, les motivations, les perceptions émotionnelles, les souvenirs et d'autres causes. Pour prendre le biscuit, il faut nécessairement planifier les mouvements, avoir une stratégie d'action mécanique et faire un choix parmi plusieurs options, car le biscuit peut être pris avec la main gauche ou droite, directement dans la bouche ou même avec les pieds si l'on a la capacité. Choix, stratégie, planification et ajustements dépendent d'un ensemble de structures cérébrales, que l'on nommera « l'organisateur ». Ces structures ne sont pas celles du « déclencheur ». Ceci est prouvé par le fait que, d'une part l'envie de manger un biscuit peut exister chez des personnes affamées comme chez des patients totalement paralysés, d'autre part car les mains peuvent être déplacées et atteindre la table pour beaucoup d'autres raisons que de saisir un biscuit. On peut ajouter que la réalisation des actes de contraction des muscles, dans le but, par exemple, d'atteindre un biscuit en levant la main gauche dépend d'un jeu de fonctions cérébrales, «le réalisateur», différent du

« déclencheur » et de « l'organisateur » car la représentation cérébrale des mains, des pieds et de la bouche sont situées des aires distinctes du cerveau alors qu'un « organisateur » donne à le choix d'utiliser un de ces membres. Bien sûr, il y a une relation forte entre ces trois mécanismes (déclencheur, organisateur, réalisateur) ainsi qu'avec d'autres mécanismes cérébraux. La physiologie moderne ne peut pas accepter l'idée de centres fonctionnels visibles en tant que zones anatomiques précises. Mais la participation d'une constellation de groupes de neurones, ayant des fonctions spécifiques, pour réaliser une action particulière, est en accord avec l'état actuel de la science. Les diverses fonctions peuvent être localisées dans des groupes de neurones situés loin les uns des autres, par exemple dans le cervelet, le cortex moteur, la pallidum, le thalamus et le noyau rouge, qui forment un circuit. Ils dépendent les uns des autres et l'ensemble permet la réalisation d'un mouvement tel que celui de prendre un biscuit de la main gauche.

Si nous acceptons l'existence anatomique des trois jeux de fonctions « déclencheur », « organisateur », et « réalisateur », il est logique de penser qu'ils peuvent être activés par des types distincts de stimulations. Pour chaque jeu de fonctions, les effets induits vont être en rapport avec les expériences passées. Un même jeu de fonctions, va induire une réponse similaire lorsqu'il est activé par des stimuli physiologiques, tel que les sensations ou les pensées, comme lorsqu'il est activé par des stimuli artificiels, tels que des stimulations électriques. Lorsque nous stimulons le cerveau grâce à des électrodes implantées, nous pouvons activer soit le déclencheur, soit l'organisateur, soit le réalisateur selon la localisation des points de contact. Les expériences ont prouvé que les stimuli naturels et artificiels peuvent interagir les uns avec les autres.

## Chapitre 18 – Activation électrique de la « volonté »

Les explications apportées dans les chapitres précédents doivent rendre plus facilement compréhensible le fonctionnement de ce que l'on considère comme des comportements volontaires, libres et spontanés. Ils dépendent en grande partie de mécanismes pré-établis, certains innés et d'autres acquis grâce à l'apprentissage. Lorsqu'un enfant fait ses premiers pas ou lorsqu'un adulte acquiert de nouvelles compétences comme celle de jouer au tennis ou de taper sur un clavier, les premiers mouvements sont maladroits et nécessitent une attention considérable portée sur chaque détail. La coordination s'améliore progressivement, les tensions musculaires inutiles diminuent et les mouvements s'accélèrent, sont plus économes et élégants sans avoir à y réfléchir. L'acquisition de compétences nécessite d'automatiser des séquences d'actions organisées dans le temps et l'espace. La volonté se manifeste dans l'objectif de l'action et dans son déclenchement, alors que la plupart des détails et l'adaptation aux circonstances sont réalisées automatiquement. Nous pouvons considérer que le rôle de la volonté est principalement de déclencher des mécanismes pré-établis. Evidemment, ce n'est pas la volonté qui est responsable du fonctionnement chimique de la contraction musculaire, de la transmission électrique des influx nerveux, ou de l'organisation détaillée des actes moteurs. Ces phénomènes dépendent de décharges électriques, de l'activation cérébrale, de jonctions synaptiques, d'inhibitions réciproques et de bien d'autres mécanismes qui sont non seulement inconscients mais sans doute encore hors de portée de notre connaissance et de notre compréhension. La spécificité du comportement volontaire est dans la dépendance de cette action envers un grand nombre d'expériences personnelles passées et présentes.

La volonté elle-même doit être en rapport avec le fonctionnement neuronale et l'on peut se demander si les stimulations électriques peuvent induire les groupes de neurones responsables de la prise de décision à agir comme ils le feraient suite à la réception d'informations sensorielles. Je ne devrais pas aborder le problème épineux de la causalité et de la détermination du comportement libre. Pourtant, en considérant les résultats d'expériences, il me semble raisonnable de supposer que les mécanismes cérébraux peuvent être activés d'une manière similaire que ce soit par la stimulation

électrique du cerveau ou par la volonté. Si le comportement spontané et le comportement induit par SEC impliquent le même jeu de zones cérébrales, alors on peut penser que ces deux types de comportements peuvent inter-agir, en modifiant réciproquement leurs mécanismes d'excitation et d'inhibition. Ceci a été prouvé expérimentalement.

Hess (107), comme nous même, avons observé lors de nos expériences que l'excitation de certains points du sous-thalamus du chat induit une rotation de la tête dans le sens des aiguilles d'une montre et que l'effet de cette stimulation de faible intensité et de faible fréquence peut être contré par l'animal. La tête se met à tourner lentement puis est ramenée abruptement à sa position normale par une geste brusque et volontaire de l'animal. Ceci peut se répéter plusieurs fois jusqu'à ce que la stimulation cesse. Si l'intensité de la stimulation est accrue, le geste de correction disparaît et le rotation de la tête continue lentement mais sûrement, suivi par une rotation du corps autour de son axe longitudinal jusqu'à ce que le chat se retrouve allongé sur le dos. Puis dans un geste soudain l'animal termine la rotation complète et se retrouve sur pieds. L'explication de ces résultats peut être celle-ci: pendant le début de la rotation induite, la position anormale de la tête produit des stimuli proprioceptifs et vestibulaires qui déclenchent un réflexe pour réduire ou empêcher l'effet de la SEC. Néanmoins, dès que le chat est sur le dos, les stimuli artificiels et naturels vont dans le même sens. La stimulation électrique continue son effet de rotation et la réaction de l'animal le ramène à sa position à quatre pattes. La somme de ces actions peut expliquer le geste soudain de redressement. L'interaction entre actions spontanées et induites a aussi été observée lors d'expériences de conditionnement du chat, lorsque celui-ci tentait souvent de réprimer les mouvements induits par SEC (89).

Un exemple frappant de la « somme mathématique » des actions spontanées et induites fut observée sur un de nos chats qui avait des électrodes implantées dans le cortex moteur gauche (48), la stimulation électrique a induit une extension et la levée de la patte avant droite accompagné d'une adaptation de la posture. La présentation d'un poisson à l'animal produisit une extension similaire dans le but de se saisir de la nourriture. La présentation du poisson accompagnée de la stimulation cérébrale a engendré un mouvement de plus grande amplitude que normalement. Le chat avait mal évalué le mouvement et il rata sa cible. Il fut incapable d'attraper la nourriture avant d'avoir fait une série d'ajustements. Le chat put ensuite attraper sa proie. En plus de montrer l'interaction des réponses spontanées et induites, cette expérience a aussi prouvé que l'animal s'est rendu compte de la perturbation et qu'il a pu, après quelques essais et erreurs, corriger son mouvement.

Dans le rapport de force entre actions spontanées et induites, lesquelles sont les plus puissantes? Est-ce qu'un type va l'emporter sur l'autre? Les résultats d'expérience montrent que lorsque les deux types d'actions sont en conflit, le plus intense l'emporte. Par exemple, sur le chat Nero, la stimulation de la scissure de Sylvius par un courant de 0,6 milliampères a induit une petite flexion de la patte avant droite. Lorsque Nero sautait sur le sol depuis une table, la même stimulation ne produisait pas d'effet visible et l'animal se recevait de manière parfaitement coordonnée, en montrant un bon contrôle volontaire de ses 4 pattes. La flexion de sa patte, induite par SEC, avait donc été totalement inhibée du fait du besoin supérieur d'utiliser les muscles dans le but de sauter. Si l'intensité de la stimulation était accrue à 1,8 milliampères, la flexion de la patte apparaissait même lorsque Nero était en plein milieu de son saut et l'atterrissage était dégradé à cause de l'impossibilité d'utiliser sa patte avant droite. En général, le comportement induit par SEC prévaut sur le comportement spontané à partir du moment où la force de la stimulation était suffisamment augmentée.

Il est connu que les réflexes sont des réponses prédictibles, des séquences rigides et réalisées sans en avoir conscience. De même, la stimulation électrique des nerfs moteurs périphériques induit des mouvements stéréotypés, peu adaptés aux circonstances. Par contraste, les actes volontaires ont un but et leur réalisation s'adapte dans le but d'atteindre un objectif déterminé. L'individu traite en

continue des informations sensorielles proprioceptives et extéroceptives, utilise des mécanismes de feedback, peut réajuster instantanément les commandes du système nerveux central pour s'adapter à l'environnement, et anticipe, ce qui nécessite une évaluation spatio-temporelle de la vitesse, la direction et des stratégies des cibles en mouvement. Selon la localisation de la SEC, ses effets peuvent être similaires à de simples réflexes ou avoir toutes les caractéristiques sus-mentionnées des actes volontaires.

La stimulation de certains points du cortex moteur et des chemins neuronaux chez le chat, le singe, et d'autres animaux peut induire des mouvements simples, totalement stéréotypés et sans adaptation, comme la flexion d'un membre. On peut alors considérer que ces effets sont dus à l'activation des structures à un niveau auquel la séquence d'action est déjà déterminée. A ce niveau, les fonctions neuronales sont plutôt limitées à la simple conduction plutôt qu'à des fonctions d'intégration et d'organisation, et seul de petites variations sont possibles.

Mais il y a aussi de nombreux exemples d'effets induits par ESB, qui concernent la réalisation d'un objectif spécifique, avec adaptation des actions motrices aux changements inattendus des circonstances.

Chez le chat, la stimulation de la partie inférieure de la scissure de sylvius a systématiquement induit une activité de léchage, comprenant l'ouverture et la fermeture de la gueule et la sortie rythmée de la langue. Sous anesthésie, le léchage était automatique et sans but, mais sur un chat éveillé, l'animal libre de ses mouvements se léchait dans un but utile, et il cherchait à lécher de la nourriture, les mains de l'expérimentateur, le sol ou son propre pelage. Dans ce cas, l'acte moteur et la posture globale étaient adaptés aux conditions de l'expérience. Par exemple, le chat s'approchait en quelques pas pour lécher la main de l'expérimentateur et il se rapprochait au fur et à mesure que celui-ci retirait lentement sa main. L'évitement d'obstacles est un autre exemple d'adaptation à l'environnement. La stimulation de la partie centrale de la scissure de sylvius d'un chat a induit une rotation de sa tête dans le plan horizontal. Cet effet était reproductible, sauf lorsque le mouvement était empêché à cause de la présence d'un obstacle (un livre) sur le chemin du chat. L'animal modifiait son action et levait la tête afin d'éviter l'obstacle, avant que l'effet induit ne reprenne.

L'adaptabilité des réponses induites par SEC aux changements de circonstances a été clairement démontrée sur les singes rhésus. Leur comportement agressif induit était orienté vers leurs ennemis naturels et montrait des formes de chasse et d'attaque en changement constant en fonction des stratégies développées par les animaux attaqués. Dans ce cas, il est évident que la SEC n'a pas induit des effets moteurs prédéterminés mais un état émotionnel d'agressivité accrue qui actionna des capacités motrices pré-établies qui ont été utilisées en prenant en compte la mémoire des relations sociales de l'animal (53)

Des expériences similaires ont eu lieu sur des coqs (111). Lorsque le coq était isolé, le seul effet observable de la SEC était une agitation. Lorsque le coq se trouvait dans un groupe il montrait un accroissement des attaques agressives envers les autres volatils. Il lançait des attaques précises, parfaitement coordonnées, totalement typiques des comportements d'attaque et de défense au sein d'un groupe.

Nous pouvons conclure que la SEC peut déclencher et influencer certains mécanismes cérébraux impliqués dans la comportement volontaire. Ceci nous permet d'étudier les fonctions neuronales en relation avec ce que l'on nomme « volonté » et, dans un futur proche, cette méthode expérimentale devrait permettre de clarifier des concepts aussi controversés que la « liberté », « l'individualité » et de la « spontanéité » grâce à des termes concrets plutôt que de débattre vaguement sur ces termes. La possibilité d'influencer les actes volontaires par stimulation électrique a bien sûr des implications éthiques, dont nous allons discuter.

## Chapitre 19 – Caractéristiques et limites de la prise de contrôle du cerveau

La possibilité pour l'homme de prendre le contrôle des pensées d'autres individus est un des plus grand mythes de l'humanité, de même niveau que la transmutation des métaux, le fait d'avoir des ailes ou de voyager vers la lune. Notre génération a assisté à l'accomplissement de tant de projets qui semblaient impossibles à réaliser que nous sommes aujourd'hui prêt à accepter pratiquement n'importe quoi. Pourtant, dans le monde scientifique, les spéculations et la fiction ne peuvent pas remplacer la vérité.

Il y a aujourd'hui de nombreuses preuves que la SEC peut prendre le contrôle d'un grand nombre de fonctions, incluant les capacités motrices et les phénomènes mentaux, aussi bien chez les hommes que chez les animaux. Nous savons que la stimulation électrique de structures spécialisées du cerveau peut rendre une personne plus amicale ou influencer le cours de ses pensées. Malgré ce potentiel incroyable, la stimulation électrique du cerveau a des limites théoriques et pratiques que nous devons souligner.

### *Prévisibilité*

Lorsque nous démarrons une voiture, le moteur se met presque systématiquement en route en quelques secondes. Le cerveau n'est pourtant pas aussi simple qu'une machine. Lorsque les électrodes sont introduites dans les structure cérébrales et qu'une stimulation est appliquée pour la première fois, nous ne pouvons réellement pas prédire la qualité, la localisation et l'intensité des effets induits. Nous ne savons même pas qu'une réaction apparaîtra. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les structures complexes, comme l'amygdale, qui remplissent beaucoup de fonctions. Mais c'est aussi vrai pour des structures plus simples, tel que le cortex moteur. Les différences anatomiques et fonctionnelles entre les cerveaux des individus empêche de prévoir les effets de la SEC (53). L'importance de ces différences dépend des circonstances locales, générales et environnementales. Nous savons que certaines fonctions sont localisées dans des structures cérébrales spécialisées, mais la localisation d'une fonction précise nécessite une exploration minutieuse et l'implantation de seulement quelques points de contacts risque d'être assez décevante. Seulement après avoir réalisé des explorations répétées d'une aire précise chez plusieurs individus, la prévisibilité des réactions pour une espèce donnée peut être améliorée et atteindre un certain niveau de certitude. A l'heure actuelle, la cartographie des fonctions cérébrales est toujours assez incomplète.

### *Monotonie fonctionnelle*

La stimulation électrique est une stimulation non spécifique, qui active toujours un groupe de neurone d'une manière similaire parce qu'elle ne porte aucun message neurologique, ni aucune information en retour (feedback) interprétable par la zone stimulée. En conséquences, les réactions se répètent de la même manière et toutes les variations ne sont attribuées qu'à des changements de l'état de l'individu. Cette monotonie fonctionnelle implique qu'il est impossible qu'un chercheur puisse contrôler à distance un sujet pour l'amener, tel un robot, à réaliser une tâche complexe.

La science-fiction a déjà imaginé des hommes équipés d'électrodes intra-cérébrales engagés dans toutes sortes de méfaits sous le contrôle pervers d'ondes radio envoyées par quelques scientifiques démoniaque. Les limitations intrinsèques de la SEC rendent cette hypothèse très lointaine. La flexion d'un membre peut être radio-contrôlée, ainsi qu'un état émotionnel, mais la séquence de réactions et

d'adaptations à l'environnement dépend de mécanismes intra-cérébraux dont la complexité ne peut pas être copiée par SEC. Même si nous pouvions stimuler plusieurs points dans le cerveau, grâce à 20 ou 30 canaux, il serait nécessaire d'avoir un retour d'information et des systèmes de calcul informatisés afin de pouvoir programmer les séquences dans le temps et dans l'espace. La performance des actions induites serait bien en dessous de la méthodologie disponible aujourd'hui. Il faut clarifier ceci que j'invoque ici la possibilité de télécommander chaque phase d'une réaction, et non les comportements complexes tels que appuyer sur un levier ou se battre. Ceci peut être déclenché par SEC, mais dépend de l'expérience de l'individu, ce qui est hors de contrôle.

### ***Performance***

La SEC peut induire de nombreuses actions que l'on pourrait qualifier comme étant habiles. Presser un levier, grimper à la cage, et chercher à se battre nécessitent une bonne coordination motrice et un traitement approprié des perceptions. La marche bipède, qui a été souvent induite par SEC des noyaux rouges des singes, est un autre exemple de coordination élaborée et d'équilibre, rarement observée dans le comportement spontané.

Ces faits démontrent que la SEC peut induire divers types d'actions habiles, mais il faut bien comprendre qu'il s'agit de la manifestation de capacités déjà existante chez l'individu stimulé. L'apprentissage des mouvements nécessite de recevoir des informations non seulement depuis l'environnement mais aussi depuis les muscles sollicités. Un processus relativement long d'apprentissage est nécessaire pour affiner la réalisation de chaque type de mouvements et pour mémoriser les formules idéokinétiques qui serviront lors du ré-accomplissement de ces mouvements. Une grande part du cerveau sert à l'apprentissage. On ne peut pas s'attendre à ce qu'une simple stimulation monotone appliquée à un groupe de neurones puisse miner une telle complexité. Il est en théorie et en pratique impossible d'acquérir une nouvelle compétence par stimulation électrique. La SEC ne peut qu'induire le désir de réaliser certaines actions, y compris des actes habiles.

### ***Stabilité mentale***

L'identité de la personne et sa réactivité dépendent de nombreux facteurs. L'expérience accumulée au cours de nombreuses années interagit avec les caractéristiques génétiques au sein du réseau complexe des neurones. Le langage et la culture sont parmi les éléments essentiels de la structure de l'individu. Tout ces éléments ne peuvent pas être substitués en appliquant de l'électricité au cerveau. Les souvenirs peuvent être rappelés, les émotions sollicitées, et la conversation accélérée, mais les patients agissent toujours en fonction de leurs origines et de leurs expériences. Il est possible de perturber la conscience, de rendre l'interprétation des sens confuse, ou d'engendrer des hallucinations lors de la stimulation du cerveau. Il est aussi possible d'induire la peur, le plaisir, et des changements du comportement agressif, mais ces réactions n'impliquent pas la création d'une nouvelle personnalité, mais seulement des changements dans les émotions et les réactions, qui restent fortement liés à l'histoire de l'individu.

La SEC ne peut pas substituer une personnalité à une autre car l'électricité ne peut pas copier ou influencer les nombreux facteurs qui participent à la formation de l'identité individuelle. Contrairement aux histoires des auteurs de science-fiction, nous ne pouvons pas modifier l'idéologie politique, l'histoire vécue, ou le patriotisme en excitant quelques zones secrètes du cerveau. Un changement complet de la personnalité dépasse théoriquement et pratiquement les possibilités de la SEC. Seules des modifications limitées d'un aspect précis des réactions de l'individu est possible. En dépit d'importantes limitations, nous faisons face à des problèmes éthiques fondamentaux.

Quand, pourquoi et comment peut-on accepter certaines modifications? Qui aura la responsabilité d'influencer les activités cérébrales d'autres êtres humains?

### ***Complexité technique***

La stimulation électrique du système nerveux central doit être planifiée de manière minutieuse, nécessite une méthodologie complexe et la collaboration de spécialistes ayant des connaissances et de l'expérience en anatomie, physiologie et psychologie. Plusieurs préparatifs sont nécessaires, notamment pour fabriquer les électrodes de haute technologie, dotées de plusieurs points de contact, et les équipements précis de stéréotaxie utilisés pour la neurochirurgie. La sélection des aires neuronales à implanter et des paramètres de stimulation nécessitent des connaissances avancées concernant la cartographie des fonctions cérébrales, ainsi qu'en électronique. De plus il faut avoir de l'expérience en médecine et en psychologie pour prendre soin du patient, interpréter les résultats obtenus et planifier l'administration des stimulations. Ces conditions complexes limitent les applications cliniques possibles. L'implantation d'électrodes, tout comme d'autres interventions de la médecine moderne, nécessite de disposer d'une équipe, du matériel et d'une clinique qui ne sont disponibles actuellement que dans un petit nombre de centres médicaux. De plus, la complexité de la procédure offre une protection contre les possibilités d'une mauvaise utilisation de la SEC par des personnes non formées ou ne respectant pas l'éthique.

### ***Fonctions contrôlables par SEC***

Nous sommes actuellement au début d'une nouvelle technologie, et, bien qu'il soit difficile de prédire les limites d'un territoire inconnu, nous pouvons supposer que les phénomènes mentaux qui dépendent de l'élaboration d'informations complexes, échapperont aux tentatives de contrôle par stimulation électrique. Par exemple, la lecture d'un livre ou l'écoute d'une conversation nécessite la perception de beaucoup de messages qui ne peuvent pas être synthétisés par la SEC. Une forme de comportement qui n'est pas déjà mémorisée dans le cerveau ne peut pas être mise en forme ou créée par SEC. La stimulation ne peut pas être utilisée comme moyen d'apprentissage car des capacités telles que jouer du piano, parler une langue ou résoudre un problème nécessitent des informations sensorielles complexes. Ni les séquences de comportements, ni les mouvements élémentaires ne peuvent être synthétisés par la stimulation cérébrale, bien qu'ils soient facilement induits lorsqu'ils ont déjà été élaborés dans les aires ciblées et mémorisés en formules idéokinétiques. Dans la mesure où la SEC ne transporte pas d'idées, il n'est pas possible de l'utiliser pour implanter des idées ou des comportements quelque soit le contexte. Son manque de signification fait que la SEC ne peut pas induire des effets comparables à ceux de l'hypnose.

## **Chapitre 20 – Applications médicales**

La découverte de nouvelles thérapies a été, et elle est encore, un besoin encore plus impérieux en ce qui concerne les dysfonctionnement du cerveau qu'en n'importe quel autre domaine de la médecine, car elle a des conséquences plus importantes sur le bien être mental et somatique du patient. Malheureusement les avancées dans ce domaine ont été relativement lentes, en partie du fait de la complexité intrinsèque de ces problèmes et en partie à cause de la peur et de la réticence traditionnelles à perturber ou agir directement sur le substrat des activités mentales. Au début du (XXIIe) siècle, la population était généralement hostile à la chirurgie et considérait obscène l'acte du chirurgien accédant aux profondeurs les plus intimes du corps (185). Les avancées culturelles et scientifiques ont fait diminuer ces préjugés. L'étude du corps humain est maintenant reconnue

essentielle aux progrès de la médecine. Les tabous sexuels ont diminué, et même l'étude scientifique des phases et des détails de l'acte sexuel ont fini par aboutir. Tous les organes du corps, y compris le coeur, les parties génitales et le cerveau ont été acceptés en tant que sujet de recherche.

L'implantation d'électrodes dans le cerveau humain est comme le fait d'installer une fenêtre magique pour révéler les explosions de décharges cellulaires lors de l'activation de fonctions dans des structures cérébrales spécifiques. La signification de ces décharges est souvent difficile à décoder, mais certaines corrélations entre les formes d'ondes électriques et les comportements ont déjà été solidement démontrées. Les lignes électrique ont aussi été utilisées pour transmettre des messages simples dans les profondeurs du cerveau dans le but d'éveiller des fonctions dormantes ou d'apaiser une activité neuronale excessive. Une nouvelle méthode fut alors établie pour imposer l'ordre à l'activité désordonnée.

En dépit du potentiel fantastique que nous offre l'accès direct au cerveau, les applications médicales ont été reçues avec scepticisme et de fortes critiques et ont progressé plutôt lentement. L'acceptation de plus en plus répandue des interventions chirurgicales, même à titre expérimental, sur la plupart des organes, y compris sur le coeur humain, contraste nettement avec la réception, généralement froide, de l'implantation de fils dans le cerveau humain, et cela bien que cette procédure est utilisée sur des animaux depuis 40 ans et qu'elle a prouvé son caractère sûr. Ceci est en grande partie dû à la persistance de vieux tabous, aussi bien chez les scientifiques que chez les profanes ainsi qu'à la peur, plus rationnelle, d'ouvrir cette boîte de Pandore.

Au fur et à mesure que les expériences s'imposent, l'exploration du cerveau s'étend aux hôpitaux du monde entier, comme cela a été visible lors de symposiums récents (159, 182, 216).

### ***Diagnostic***

L'activité électrique spontanée du cerveau (électroencéphalogramme, EEG) peut être enregistrée grâce à des électrodes placées en surface, qui adhèrent au scalpe grâce à un gel adhésif. C'est une procédure standard utilisée pour le diagnostic de plusieurs maladies du cerveau, telle que l'épilepsie, qui est caractérisée par des épisodes d'amplitude accrue et de synchronisation de l'activité neuronal, que l'on enregistre et peut identifier. Néanmoins, des perturbations importantes peuvent exister dans des structures situées en profondeur du cerveau, et de ce fait ne pas être détectées par l'EEG de surface (57). Dans ce cas l'utilisation d'électrodes intra-cérébrales peut fournir des informations essentielles au diagnostic. Par exemple, l'épilepsie psychomotrice est parfois réduite par l'ablation chirurgicale de la pointe du lobe temporal, où la crise commence. Dans ce cas il est indispensable d'identifier la source des pics d'activité et particulièrement de décider si elle est unilatérale ou présente des deux côtés du cerveau. En dépit de quelques désaccords sur la localisation, la multiplicité, et le déplacement des centres de l'épilepsie, on s'accorde en général sur le fait que les électrodes implantées peuvent fournir des données qui ne peuvent pas être obtenues par d'autres moyens.

Les études expérimentales n'ont pas permis d'établir la corrélation que l'on attendait entre les perturbations mentales et l'EEG, bien que quelques patients malades mentaux ont présenté des anomalies dans leurs EEG. Les enregistrements profonds ont aussi échoué à fournir des informations décisives concernant ces patients. Par exemple, l'affirmation que des pics d'activité dans l'aire septale est typique de la schizophrénie (88) n'a pas été confirmée (57). L'absence de données significatives doit être attribuée au manque de précision de la méthodologie actuelle. Les fonctions mentales perturbées doivent présenter un contexte de neuro-physiologie altérée, qui devrait être détecté si nous connaissions mieux les mécanismes impliqués et si nous avions des technologies plus avancées. Dans cette direction un pas fut franchi grâce aux méthodes d'auto-

corrélations et de corrélations croisées qui permettent de reconnaître des formes typiques dans le « bruit » des signaux enregistrés. L'analyse informatisée de la puissance et du spectre en fréquence sont aussi de nouveaux outils qui vont augmenter l'utilité des EEG pour les études scientifiques et le diagnostique. Les enregistrements profonds peuvent aussi être utilisés pour localiser sans intrusion les tumeurs dans le cerveau, en détectant des changements de potentiels anormalement et le manque d'ondes spontanément présentes dans la masse des cellules cancéreuses.

En plus de la connaissance apportée par l'étude des ondes cérébrales spontanées, d'autres informations utiles peuvent être obtenues en enregistrant les altérations induites par la stimulation électrique du cerveau. L'utilisation d'un stroboscope qui produit des flashes lumineux, ou l'utilisation de bruits de « clics » activent les mécanismes d'analyse correspondant dans le cerveau et ceci peut révéler des aires cérébrales excessivement actives. Les patients épileptiques sont particulièrement sensibles aux flash lumineux répétés. Ceci peut provoquer l'activation d'anormalités électriques dormantes ou même déclencher une crise de convulsions. L'administration d'un seul ou de plusieurs chocs électriques peut aussi aider à localiser les zones de neurones qui dis-fonctionnent. L'administration par voie générale de médicaments qui augmentent ou diminuent l'excitabilité du cerveau (par exemple le metrazol ou le phénobarbital) peut être utilisée en conjonction avec la SEC dans le but de tester la sensibilité du patient au médicament, et ainsi orienter sa thérapie vers la médecine ou la chirurgie.

La stimulation électrique du cerveau lors de l'intervention chirurgicale ou pendant la destruction à but thérapeutique de zones limitées du cerveau, est nécessaire pour tester l'excitabilité locale et déterminer la localisation fonctionnelles des zones que l'on doit préserver. Ceci est particulièrement important pendant le traitement chirurgical de la maladie de Parkinson, qui nécessite de congeler des tissus cérébraux aux alentours du pallidum ou du thalamus, à proximité des voies neuronales motrices, dans la capsule interne. L'identification de ces chemins est impérative dans le but d'éviter leur destruction accidentelle et la paralysie permanente du patient.

### ***Thérapie***

Le tissu cérébral aux environs de la zone de contact avec les électrodes peut être détruit par électrocoagulation, si l'on envoie une quantité appropriée de courant continu. L'avantage d'utiliser des électrodes implantées dans ce but, au lieu d'une chirurgie à cerveau ouvert, est qu'une exploration fonctionnelle détaillée est possible avant et après d'avoir localisé la lésion cérébrale, et, fait plus important, que la coagulation peut être contrôlée et répétée sur une période de plusieurs jours ou semaines, en fonction des résultats thérapeutiques obtenus. Cette thérapeutique a été utilisée pour soigner des mouvements incontrôlés, des douleurs résistantes, des foyers de l'épilepsie et plusieurs perturbations mentales incluant l'anxiété, la peur, les obsessions compulsives et les comportements agressifs. Certains expérimentateurs rapportent des succès thérapeutiques remarquables sur les patients obsédés. D'autres sont plus sceptiques à propos de l'utilité des électrodes implantées en profondeur et des l'électrocoagulation appliquée aux malades mentaux.

La stimulation électrique de structures spécifiques a été utilisée en tant que procédure thérapeutique. Des effets bénéfiques ont été obtenus chez les patients schizophrènes en excitant de manière répétée le septum et d'autres aires qui produisent les sensations de plaisir (99, 201, 233). Dans certains cas de douleur résistante, une amélioration considérable a été rapportée et certains patients ont été autorisés à stimuler eux même leur cerveau de manière répétée, en utilisant un stimulateur portable. Chez un patient, des explosions soudaines de comportements agressifs ont été diminués par des périodes de stimulations brèves et répétées du noyau de l'amygdale (60).

Une des applications prometteuses de la SEC est la programmation de stimulations sur le long

terme. Des études animales ont montré que l'excitation répétée de structures cérébrales déterminées produit des effets de longue durée et que la stimulation intermittente peut être continuée indéfiniment. Certains résultats obtenus sur l'homme le confirment. Il doit être souligné que les lésions cérébrales sont une destruction irréversible alors que la stimulation du cerveau sont beaucoup plus adaptées au niveau physiologique et respectent l'intégrité des tissus, ce qui n'empêche pas d'utiliser la chirurgie si nécessaire. L'exemple suivant peut rendre le potentiel de cette méthode plus évident. Nashold (160) a décrit le cas d'un patient souffrant de grave tremblement essentiel associée à plusieurs scléroses, sur lequel la stimulation du noyau dentelé du cervelet a produit une inhibition du tremblement avec une amélioration nette de la mobilité volontaire. Il a été supposé qu'un pacemaker cérébral pourrait être déclenché par le patient lui-même lorsqu'il désirait réaliser un mouvement volontaire.

Beaucoup d'autres applications possibles pourraient être explorées, y compris le traitement de la névrose anorexique, en alimentant les centres de l'hypothalamus latéral, de l'insomnie excessive en induisant artificiellement le sommeil par la stimulation de la partie centrale du noyau codé, la régulation de l'ACTH en activant l'hypophyse et l'augmentation de la communication du patient dans un but de psychothérapie en excitant le lobe temporal.

Un système de communication radio bi-directionnelle pourrait être établi entre le cerveau d'un individu et un ordinateur. Certains types d'activités neuronales liées à des comportements perturbés tels que l'anxiété, la dépression ou la colère pourraient être identifiés dans la but de déclencher une stimulation des zones inhibitrices spécifiques. La stimulation du cerveau à la demande pour corriger des dysfonctionnements cérébraux présente une nouvelle approche de thérapeutique corrective (feedback). Bien que ceci soient des spéculations, ils s'agit de possibilités réelles si l'on considère nos connaissances actuelles et les méthodologies prévues.

### **Contourner les voies sensorielles abîmées**

Le miracle de donner la lumière aux aveugles et le son aux sourds a été réalisé grâce à l'implantation d'électrodes, ce qui démontre le possibilité technique de contourner les récepteurs sensoriels abîmés grâce à la stimulation électrique du système nerveux. Brindley et Lewin (24) ont décrit le cas d'une femme de 52 ans, totalement aveugle suite à un glaucome bilatéral. On implanta sur son crâne, sous le scalpe, un réseau de huit petites bobines réceptrices reliées à quatre-vingt électrodes en platine enrobées de silicone, implantées au contact direct du cortex visuel du lobe occipital droit. Chaque bobine était accordée sur une fréquence de 6 ou 9,5 mégahertz et pouvait être excitée en appliquant une bobine émettrice à la surface du scalpe. Ce système de stimulation à travers la peau a permis de faire percevoir au patient une sensation visuelle située dans la partie gauche de son champ de vision. C'était comme un petit point lumineux de couleur blanche, parfois doublé ou parfois un groupe de points. Les effets différents de la stimulation de chacun des contacts, séparés de 2,4 millimètres étaient facilement distinguables et la stimulation simultanée de plusieurs électrodes induisait la perception de formes visuelles constantes. Les expérimentateurs ont supposé qu'en implantant six cents petites électrodes il serait possible à un patient aveugle de discriminer des formes visuelles et qu'ils pourraient aussi permettre une lecture à vitesse normale en utilisant des signaux électrique.

Suivant une approche différente, le chercheur mexicain del Campo (26) a inventé un instrument qu'il appelle « amroscope ». Il est constitué de cellules qui transforment les images en impulsions électriques, qui sont modulées et envoyées pour stimuler les branches suborbitales du nerf trijumeau, par le biais d'électrodes placées sur la peau, au dessus des yeux. Les impulsions sont de ce fait transportées au système réticulaire du cortex cérébral. Cet équipement n'est pas trop sophistiqué et son principe neurophysiologique de fonctionnement est controversé, mais les tests

expérimentaux sur plus de deux personnes ont montré que la perception visuelle peut être produite par excitation électrique, chez des aveugles, voir des personnes n'ayant pas d'yeux.

Des sensations auditives ont aussi été produites chez des sourds par la stimulation électrique du nerf auditif grâce à des électrodes implantées de manière permanente. Simmons et al. (208) a étudié le cas d'une femme de soixante ans qui était totalement sourde de l'oreille droite depuis plusieurs années et presque sourde de l'autre oreille depuis plusieurs mois. Sous anesthésie locale on implanta un ensemble de six électrodes sans le nerf auditif droit reliées à un connecteur ancré sur le crâne juste sous l'oreille droite. Deux semaines après la chirurgie, des stimulations électriques ont permis de produire la perception de plusieurs sensations auditives. La hauteur variait selon le point stimulé et des paramètres de stimulation. Par exemple, une stimulation de 3 ou 4 impulsions par secondes était entendue comme des « clics », en augmentant la fréquence, la perception était comme une « sonnerie de téléphone », à 30 impulsions par seconde, comme un « bourdonnement » et il n'était pas possible de discriminer les impulsions de 100 à 300 par secondes. L'intensité était liée à l'amplitude de la stimulation et à la durée des impulsions, et peu liée à la fréquence.

Lorsque nous évaluons ces expériences, nous devons comprendre que la précision de nos sens ne peut pas être copiée par des technologies électriques car nos récepteurs sensoriels ne sont pas des capteurs passifs mais des modulateurs et des discriminateurs actifs. Le mécanisme de contrôle réciproque entre la périphérie et les neurones centraux et les procédés de filtrage et de corrélation croisées des informations sensorielles qui sont mis en oeuvre lors de la transmission des impulsions (par voie naturelle) n'existent pas dans le cas de la stimulation électrique. Il est douteux que l'on puisse injecter des perceptions fines, comparables aux impulsions physiologiques, par des moyens électroniques. Mais la perception de sensations, même grossières, alors que l'espoir est perdu, est certainement encourageant et mérite de persévérer,

### ***Viabilité du cerveau***

La distinction clinique entre la vie et la mort n'était pas bien difficile à établir dans le passé. Lorsque la respiration et le battement du coeur avaient cessé, une personne était déclarée morte et un médecin ne pouvait pas faire grand-chose. Il est vrai que dans certains cas exceptionnels, les signes de mort n'étaient qu'apparents et certains patients se réveillaient spontanément, à la grande surprise de leur médecin, de leur famille et d'eux même, mais ces histoires fantastiques étaient très exceptionnelles.

Dans les années récentes, la situation a changé car la technologie médicale a éloigné la mort des causes jusque-là fatales. L'arrêt respiratoire n'est plus fatal, et beaucoup de victimes de la poliomyélite ont survécu grâce à un poumon artificiel. Le bloc cardiaque n'est pas forcément un signe de fin de la vie car le rythme cardiaque peut-être contrôlé par un pacemaker. La défaillance des reins n'induit pas forcément l'empoisonnement du patient car il existe des machines de dialyse pour nettoyer le sang. La collection d'ingénieux équipements électrochimiques s'est récemment enrichie d'une machine permettant un échange de circulation sanguine entre un humain malade et un babouin en bonne santé afin de clarifier le sang humain. Cette procédure é été testée en décembre 1967 par le Docteur Hume au Centre Hospitalier Universitaire de Virginie. Une patiente qui était plongée dans un coma profond, avec jaunisse et oedème fut traitée. Un babouin de 35 livres, en bonne santé, fut anesthésié, refroidit et son sang fut totalement vidé par l'administration d'une solution physiologique, puis remplacé par du sang humain correspondant au groupe sanguin du patient. Puis un circulation croisée fut établie entre la jambe du babouin et le bras de la patiente. En douze heures la patiente avait excrété environ 5 livres de sang à travers les reins du singe et elle avait repris conscience. Vingt-deux jours après la patiente était chez elle et le babouin était vivant et en bonne santé. Une procédure similaire fut utilisée avec succès pour d'autres patients (21).

Aujourd'hui les vies de nombreux patients ne dépendent pas uniquement du bon fonctionnement de leur propre corps, mais aussi de la disponibilité de singes, de donneurs d'organes, du courant fourni par une pile, de l'intégrité d'un circuit électronique, de la bonne gestion d'une pompe, ainsi que d'une équipe de médecins et de techniciens. Dans certains cas la mort peut-être retardée de plusieurs semaines ou mois et la technologie actuelle place les médecins devant des responsabilités formidables, leur donne le pouvoir quasi divin de décider de la durée de la survie du patient. Une importante controverse, qui a atteint le public et le Parlement Britannique est apparue lors de la révélation récente qu'à l'hôpital londonien de Neasden, les dossiers de patients de plus de soixante-cinq ans, souffrant de tumeurs malignes ou d'autres maladies chroniques graves, étaient marqués d'un 'NTBR' (« not to be resuscitated »: ne pas réanimer) en cas d'arrêt cardiaque. La prolongation artificielle de la vie humaine consomme du temps, des équipements et du personnel et impose un stress supplémentaire aux patients et à leurs familles. Les ressources étant limitées, il est matériellement impossible de tenter de réanimer tous les patients qui meurent chaque jour et il est nécessaire de sélectionner ceux qui ont la meilleure chance d'avoir une vie longue et utile. Pourquoi maintenir la vie des patients inconscients, touchés de lésions cérébrales irréversibles et sans espoir de convalescence?

Le choix dramatique entre la vie et la mort illustre à la fois le pouvoir que l'homme a acquis récemment et la nécessité de l'utiliser d'une manière intelligente et avec compassion. La situation est rendue encore plus complexe par la mise au point récente de la transplantation d'organes. Ceci crée un conflit d'intérêt littéralement « vital » parce qu'une personne maintenue artificiellement en vie possède des organes en bon état, par exemple les reins, le pancréas, le cœur et les os, dont on a besoin d'autres patients mourants.

La notion de mort, de la personnalité et des droits humains en ce qui concerne la biologie doivent être redéfinis en considérant ces avancées scientifiques. Les biens dont on peut disposer après la mort incluent non seulement les biens immobiliers, financiers et mobiliers, mais aussi les dents, les cornées et le cœur. Cette perspective lève beaucoup de questions éthiques et légales. Elle paraît à la fois macabre et nous met mal à l'aise, mais c'est uniquement parce que nous n'y sommes pas habitués. Donner son sang pour qu'il soit transfusé, de la peau pour qu'elle soit greffée, des spermatozoïdes pour l'insémination artificielle, ou un rein, sont des pratiques plus acceptables parce qu'elles ne nécessitent pas la mort du donneur. Lorsque la mort ne peut pas être évitée, l'idée du transfert et de la survie de certains organes devrait être considérée comme raisonnable.

La possibilité de la survie d'organes fonctionnels fait apparaître la question évidente de savoir quelles sont les parties du corps qui sont le siège de la personnalité. Il y a un accord sur le fait que l'organe le plus fondamental de l'identité n'est pas l'estomac, le foie, ou même le cœur, mais le cerveau. Après avoir redéfini les critères de la mort, il a été proposé que dans les cas difficiles, lorsque la circulation, la digestion, les échanges métaboliques et d'autres fonctions sont encore vives, on considère que la personne est vivante ou non, en fonction de l'état vital du cerveau. En conséquence de quoi la personne serait maintenue ou non en vie de manière artificielle. Dans certains hôpitaux, en bout de compte c'est la machine EEG qui détermine la mort. A l'hôpital général du Massachusetts, le Docteur Robert Schwab a proposé que la mort soit déterminée par un EEG plat sur toutes les électrodes pendant vingt minutes d'enregistrement en continu et l'absence de réactions aux stimuli sensoriels et mécaniques. En l'absence d'activité EEG vingt quatre heures et quarante huit heures après, la mort est présumée, même si (ce qui arrive dans quelques rares cas), le cœur bat toujours normalement.

Dans un futur proche il sera nécessaire d'examiner la question plus en détail afin de déterminer quelles parties du cerveau sont considérées essentielles pour la survie de la personnalité humaine. Nous savons déjà que des parties du cerveau peuvent être détruites ou enlevées avec des

conséquences psychiques négligeables à modérés. La destruction du cortex moteur induit la paralysie. L'ablation du lobe temporal peut affecter la mémoire à court terme. La destruction des lobes frontaux peut modifier l'anticipation et les réactions affectives. Mais dans tout ces exemples, le comportement de la personne peut encore être qualifié d'humain. Par contre, la destruction de l'hypothalamus ou de la formation réticulée, peut induire une perte définitive de la conscience et dans ce cas, on peut se demander s'il existe toujours une personnalité. La possibilité de la survie de « pièces » ayant des fonctions psychiques va rendre la définition de l'homme plus difficile et peut être compliquer encore la réponse à la question «qu'est ce que la vie humaine? » La réponse à ces questions devrait cependant nous apporter une compréhension plus profonde des qualités essentielles de l'être humain, et de la direction de son évolution vers de objectifs intelligent.

## Chapitre 21 – Considérations éthiques

Implanter des électrodes dans le cerveau, explorer les voies neuronales de la personnalité, et influencer le comportement par SEC ont créé une variété de problèmes, dont certains concernent des considérations éthique de médecine en général et d'autres sont plus spécifiquement en rapport avec la morale et les problèmes philosophiques concernant l'activité mentale.

### *Utilisation clinique des nouvelles techniques médicales*

Un des principaux objectifs de la recherche animale est de découvrir de nouveaux principes et de nouvelles méthodes qui puissent être appliquées au bénéfice de l'homme. Leurs avantages et leurs risques potentiels ne peuvent pas être assurés tant qu'ils n'ont pas été testés de manière exhaustive sur des sujets humains et les premiers essais doivent toujours être considérés comme expérimentaux. La preuve que la pénicilline ou d'autres nouveaux médicaments peut avoir une efficacité thérapeutique est d'abord trouvée in vitro, puis sur plusieurs espèces de mammifères, mais la preuve finale de sa sûreté et de son efficacité clinique nécessite des tests sur l'homme. En dépit des mesures de précaution prises il y a la possibilité que des effets non prévus, des effets secondaires à apparition lente, puissent avoir des conséquences graves. Un composé de thorium utilisé dans les années trente comme produit de contraste en radiologie du foie est apparu radioactif et il a causé la mort lente de centaines de patients. Un médicament supposé inoffensif, l'infâme thalidomide, qui était administrée comme sédatif, a eu des effets catastrophiques sur le développement foetal, et fut à l'origine de la tragédie des enfants nés avec plusieurs malformations sévères. Des accidents de ce type sont à l'origine de réglementations plus strictes, mais l'espace qui sépare la biologie animale de la biologie humaine est difficile à combler et dans chaque cas, un compromis doit être atteint, entre les précautions nécessaires et les risques éventuels.

La démonstration historique de Fulton et Jacobsen (81) que la frustration et les comportements névrotiques du chimpanzé peuvent être abolis par la destruction des lobes frontaux a été l'origine de la lobotomie, qui a été depuis largement utilisée pour le traitement de certains types de maladies mentales chez les humains. Cette opération consiste à couper les connexions des lobes frontaux et elle montre le fait important que les manifestations psychiques peuvent être influencées par des moyens physiques aussi osés que le coup de scalpel. Le Prix Nobel récompensa le premier neurochirurgien à avoir réalisé des lobotomies sur des humains, Egas Moniz. Ce prix était en reconnaissance de l'importance d'avoir montré le principe que l'esprit n'était pas aussi intouchable que nous le croyons auparavant et qu'il pouvait être l'objet d'études expérimentales.

En dépit d'un premier accueil favorable, la lobotomie fut rapidement critiquée en tant que procédure thérapeutique parce qu'elle produisait souvent en même temps une altération non souhaitable de la

personnalité, et des traitements plus respectueux de l'intégrité furent activement recherchés afin de permettre un « moyen moins détériorant, moins sacrificiel que la lobotomie, la leucotomie la gyrectomie, la thalamotomie et d'autres interventions destructrices des structures nerveuses, pour gérer les désordres mentaux. » (145). Parmi ces efforts, l'implantation d'électrodes dans le cerveau offre des promesses intéressantes. Chez les singes, la stimulation ou la destruction limitée du noyau codé produit quelques uns des symptômes de la lobotomie frontale, avec des changements de comportement plus distincts (191). L'implantation d'électrodes chez l'homme a permis d'accéder à n'importe quelle structure cérébrale pour enregistrer des signaux, stimuler la zone adjacente ou la détruire. Leur possible utilisation clinique soulève des problèmes controversés en ce qui concerne le risque, la logique et l'efficacité médicale, mais il y a un consensus sur le fait que les enregistrements en profondeur peuvent fournir des informations significatives qui ne peuvent pas être obtenues par d'autres moyens et qui sont essentielles au bon diagnostic et au traitement des patients souffrant de perturbations cérébrales.

L'enregistrement et la stimulation sur des patients équipés d'électrodes intra-cérébrales offrent des connaissances fondamentales des mécanismes neurophysiologiques de l'homme qui peuvent être de grande valeur pour le patient lui-même, pour les autres et pour le progrès scientifique. De plus, ils offrent une opportunité unique d'obtenir des données importantes concernant les fonctions cérébrales qui ne sont pas forcément directement en rapport avec leur maladie. Dans ce cas, nous faisons face à des problèmes éthiques concernant ces recherches, qui doivent être bien pris en considération.

### *L'expérimentation humaine*

Alors que la médecine respecte en général le principe énoncé dans le serment d'Hippocrate de faire tout ce qui est dans son pouvoir pour guérir le malade et d'éviter de nuire, la recherche sur les sujets humains ne respecte pas ces principes traditionnels et ne respecte que les critères personnels des chercheurs, qui n'ont pas toujours été valables. D'après Beecher (12), des écoles de médecine réputées et des médecins reconnus ont parfois menés des recherches non éthiques. Dans le but d'évaluer leur toxicité, des doses extrêmes de médicaments ont été administrées, ce qui a provoqué des perturbations du comportement. Des placebos ont été donnés à la place de médicaments à l'efficacité prouvée, ce qui a aggravé l'état des patients. A l'Institut Sloan-Kettering de New York, un établissement réputé, des cellules cancéreuses actives ont été injectées sous la peau de vingt-et-un patients âgés sans leur dire ce qu'on leur administrait. Beecher ne croit pas que ces études sont la preuve d'un manque de respect volontaire envers les patients, mais qu'elles sont dues à une mauvaise conception des expériences.

Bien qu'aucun code d'éthique formel n'ait été accepté universellement en ce qui concerne les recherches menées sur l'homme, des règles de conduites fondamentales ont été formulées par l'Association Américaine de Psychologie (43), par les juges du Tribunal de Guerre de Nuremberg (218), par l'Association Mondiale de Médecine (246) et par le Conseil de la Recherche Médicale de Grande Bretagne (153). Un éditorial du New England Journal of Medicine, daté de 1966, mentionne que dans les recherches portant sur la médecine et l'humain, le bien-être des patients malades ou du sujet expérimental a traditionnellement été primordial. « Ceci implique clairement que les expériences thérapeutiques ou théoriques présentant un risque significatif de morbidité ou de mortalité sont réalisées seulement avec un objectif de bénéfice immédiat pour le patient. Le consentement éclairé et libre le plus significatif possible doit être obtenu des patients pour qui aucun bénéfice ne peut être attendu. » Au cours de l'été 1966, le Service Public de Santé des USA a émis une directive concernant les recherches impliquant des humains qu'il soutenait. Elle spécifiait la nécessité du consentement total des sujets et une supervision minutieuse des projets par un comité ad-hoc. Dans un argument détaillé, Wolfenberger (245) a clarifié la signification du

consentement éclairé: le sujet d'expérience comprend tous les aspects essentiels de l'étude, les types et niveaux de risques, les conséquences néfastes ou bénéfiques, s'il y en a, et l'objectif de l'expérience.

Un des problèmes éthiques majeurs vient du conflit d'intérêt entre la science, le progrès, la société et les droits des individus. Les principes de la dignité de la personne, de la vie privée, de la liberté sont souvent abandonnés, de grès ou de force, en faveur du groupe. Les pompiers, policiers et soldats peuvent risquer ou perdre leur vie au bénéfice de la communauté. Les activités civilisées sont pleines de règles qui limitent la liberté. Nous sommes obligé de révéler nos revenus, de payer des taxes, et de servir dans l'armée. Nous ne pouvons pas nous déplacer nus, cueillir les fleurs de jardins publics, ou parquer notre voiture où bon nous semble. Nous sommes contrôlés en passant les frontières et mis en prison si notre conduite est considérée antisociale par la loi. Bien que le respect des individus est considéré et accepté en théorie, dans la pratique il est souvent contesté et limité. L'équilibre entre les devoirs envers la communauté et les droits individuels ne dépend pas de la volonté de l'individu mais des coutumes et des lois établies par le groupe.

En ce qui concerne la recherche médicale, il est difficile d'écrire un code d'éthique. De même que le Groupe d'Etude de la Recherche sur le Comportement et la Vie Privée a conclu en 1967 « la législation pour assurer une reconnaissance appropriée des droits des sujets humains n'est ni nécessaire ni souhaitable » et « du fait de sa relative inflexibilité, la législation ne peut pas régler l'opposition subtile et délicate des valeurs » En science, les choix éthiques nécessitent non seulement un jugement moral mais aussi une information factuelle, la connaissance de la technologie, et de l'expérience, particulièrement pour évaluer les risques et les bénéfices. Pour pouvoir décider d'accepter une chirurgie à coeur ouvert, un patient doit connaître l'évaluation médicale de sa condition et l'état de la science chirurgicale. Mais si le médecin est souvent prêt à évaluer cela c'est rarement le cas du patient. En recherche médicale, le consentement est certainement essentiel, mais la responsabilité reste au chercheur et à l'organisme de recherches. La quête du consentement d'un patient, ou d'un étudiant participant au projet de recherche, comporte une lourde charge d'autorité morale et une certaine coercition, et l'obtention du consentement ne libère pas le directeur de sa pleine responsabilité dans la conception de l'expérience et ces conséquences. La simple demande de pouvoir réaliser une procédure douteuse doit être considérée comme non éthique parce qu'elle implique un stress psychologique du patient. Les enfants et les adultes perturbés mentalement ne peuvent pas donner un consentement valable et les proches doivent être consultés. Néanmoins, leurs décisions sont facilement influençables par la manière dont les médecin dépeint l'expérience. Celui-ci augmente ainsi sa responsabilité, qui devrait être partagé de préférence par un groupe de trois consultants professionnels ou plus.

Il existe un aspect de la recherche humaine qui est en général négligé: l'existence d'un devoir moral et social de faire avancer la connaissance scientifique et d'améliorer le bien-être de l'homme. Lorsque des connaissances médicales importantes peuvent être obtenues avec des risques négligeables et sans empiéter sur les droits des individus, le chercheur a le devoir d'utiliser son intelligence et ses compétences dans ce but. Ne pas le faire est une négligence professionnelle en quelque sortes similaire à celle d'un médecin qui ne consacrerait pas tous ses efforts pour prendre soin d'un patient. Les sujets ayant des électrodes implantées sont un bon exemple, car l'utilisation de la télémétrie et d'enregistrements vidéo en eux, rends possible de nombreuses études centrées sur la cause de leurs activités normales et anormales, l'analyse spectrale des ondes électriques, le temps de conduction, les potentiels induits et les corrélations entre ondes électriques et comportements. Ce type de recherches peut fournir de données de très grande valeur, qui ne peuvent être obtenues que depuis des sujets humains, sans risques, ni même sans solliciter le temps et l'attention des patients. Les informations peuvent être obtenues alors que le sujet agit normalement, par exemple lorsqu'il lit le journal, regarde la tv ou dort. Seuls le système d'enregistrement et l'équipe de recherche doivent être en activité. La méthodologie de l'étude télémétrique du cerveau est toute

nouvelle et il faudra quelques temps avant que son potentiel et son côté pratique soient reconnus et son utilisation répandue dans les hôpitaux. A mon avis cette recherche est à la fois éthique et souhaitable.

Néanmoins, les procédures qui sont à risques ou inconfortables doivent être évitées. Le temps d'implantation des électrodes ne peut pas être prolongé sans nécessité et l'administration de médicaments, d'injections, ou la cathétérisation dans un but de recherche ne sont pas acceptables. Toute exception à cette règle devrait être minutieusement évaluée et clairement expliquée au sujet expérimental.

Lorsqu'un patients à besoin d'électrodes dans son cerveau pendant des semaines voir des mois, le médecin doit faire face à une responsabilité double, premièrement de ne rien faire qui soit néfaste ou désagréable au nom de la science et, deuxièmement, de réaliser autant de recherches qu'il est possible tant que cela reste sans risques et que cela respecte le confort du parient.

L'utilisation de volontaires en bonne forme pour la recherche médicale est controversé, en partie parce qu'ils sont recrutés dans les prisons, au service militaire, dans les universités et dans d'autres groupes qui sont plus ou moins liés à l'ordre et donc on a une capacité de choix libres diminuée. Une des expériences les plus connues était l'étude d'un médicament antipaludéen sur l'homme. En Australie, un projet bien planifié fut organisé pour infecter délibérément 1000 militaires volontaires avec le parasite. Cette étude fut prolongée dans plusieurs prisons d'état des USA. Une expérience encore plus spectaculaire, qui fut une réussite, fut l'administration du vaccin contre la poliomyélite à des milliers d'enfants scolarisés il y a quelques années. Elle démontra l'efficacité d'un nouveau vaccin. Décider de telles expériences n'est possible que si l'on prend en compte minutieusement les facteurs impliqués en gardant les principes éthiques fondamentaux à l'esprit.

Les individus volontaires ont plus de liberté de choix, et j'ai reçu des lettres de nombreuses personnes proposant d'être des « cobayes humains » pour l'implantation d'électrodes dans leur cerveau. Pour des raisons à la fois éthiques et pratiques, leur offre ne peut être acceptée, mais il est intéressant de noter les diverses motivations de ces propositions. Il peut s'agir d'un intérêt purement scientifique, l'espoir d'être rétribué, la manifestations d'une perturbation d'ordre psychotique, et aussi d'une intention plus généreuse: certaines personnes souhaite donner leur cerveau à étudier dans l'espoir que des connaissances seraient acquises afin d'envisager le traitement d'un être aimé qui souffre d'un dysfonctionnement du cerveau qui ne peut pas être soigné par des thérapies standards. Le Docteur David Rioch a exprimé ce vœux d'une manière la plus claire, lors d'une conférence concernant le cerveau non anesthésié, qui s'est tenue à Washington D.C. En 1957:

*« Lorsque j'atteindrai la retraite... je pourrais très vraisemblablement me rapprocher du neurochirurgien dont les objectifs et les orientations scientifiques me conviennent et lui dire « faisons une expérience en semble, car il y a beaucoup de chose que vous et moi voudrions découvrir. » Je serais considérablement intrigué de savoir quelles « attitudes » et « sensations » un bon chercheur peut induire de manière artificielle depuis mon amygdale et encore plus intrigué de vérifier par moi-même les sensations d'euphorie et de dysphorie (185). »*

### ***Manipulation électrique du psychisme***

L'aspect le plus inquiétant de la SEC est que la réactivité psychologique peut être influencée en appliquant quelques volts à une région déterminée du cerveau. Ce fait a été interprété par de nombreuses personnes comme une menace inquiétante pour l'intégrité humaine. Dans le passé, l'individu pouvait faire face à des risques et des pressions en préservant sa propre identité. Son corps pouvait être torturé, ces pensées et ces désirs pouvaient être mis en doute par la corruption, les

émotions et l'opinion publique, et son comportement pouvait être influencé par les circonstances environnementales, mais il avait toujours le privilège de décider de son propre destin, et de mourir pour un idéal sans avoir à changer d'opinion. La fidélité à notre histoire émotionnelle et intellectuelle donne à chacun de nous le sentiment d'une stabilité transcendante et peut-être d'immortalité qui est plus est plus précieux que la vie elle-même.

Mais, la nouvelle technologie neurologique est devenu plus efficace. L'individu est sans défenses contre la manipulation directe de son cerveau car il est dépouillé des mécanismes les plus intimes de sa réactivité biologique. Dans les expériences, la stimulation électrique d'une intensité appropriée prévaut toujours sur le libre arbitre. Par exemple la flexion induite de la main par la stimulation du cortex moteur ne peut pas être empêchée volontairement. La destruction des lobes frontaux produit des changements dans l'efficacité qui sont hors de tout contrôle personnel.

La possibilité d'annihiler l'identité de l'individu ou pire, de le contrôler à volonté, a parfois été considérée une menace futur pire que l'holocauste atomique. Les médecins eux-mêmes ont exprimé des doutes à propos de la capacité de trafiquer le psychisme par des moyens matériels et ils soutiennent l'idée que l'identité de la personne doit rester inviolable, que toute tentative de modifier le comportement de l'individu est non éthique et que les méthodes et les recherches dans ce domaine, qui peuvent influencer le cerveau humain, devrait être bannies. La perspective de toute possibilité de contrôle matériel sur l'esprit provoque une variété d'objections: des objections théologiques parce que ceci impacte le libre arbitre, des objections morales parce que cela affecte la responsabilité individuelle, des objections éthiques car cela peut bloquer les mécanismes d'auto-défense, des objections philosophiques parce que cela menace l'identité personnelle.

Pourtant ces objections peuvent être débattues. L'interdiction du progrès scientifique est évidemment naïve et irréaliste. Elle serait impossible à imposer de manière universelle et, plus important, ce n'est pas la connaissance elle-même mais sa mauvaise utilisation qui doit être contrôlée. Un couteau n'est ni bon ni mauvais, mais il peut être utilisé par un chirurgien aussi bien qu'un assassin. La science devrait être neutre, mais les scientifiques devraient prendre des positions (242). L'esprit n'est pas une chose statique, innée, possédée par l'individu et qui se suffit à lui-même, mais c'est une organisation dynamique des informations sensorielles du monde externe, corrélées et remises en forme au travers des structures fonctionnelles et anatomiques du cerveau. La personnalité n'est pas une façon intangible et immuable de réagir, mais un processus flexible en continuelle évolution, affecté par son entourage. La culture et l'éducation ont pour fonction de mettre en forme des réactions qui ne sont pas innées. Elles sont faites pour poser des limites à la liberté de choix. Le code moral peut différer complètement d'une civilisation à l'autre. La polygamie était acceptée aux temps bibliques, et elle est toujours pratiquée chez les musulmans, mais elle est rejetée par beaucoup d'autres civilisations chez lesquelles de fortes pressions sociales, légales, religieuses et de l'éducation poussent à avoir un comportement monogame. Bien sur il n'y a pas d'impossibilité physique d'avoir une douzaine de femmes, du moins jusqu'à ce que la loi ou les femmes ne s'en saisissent, mais dans ce cas nous entrons dans un rapport de forces, dans un équilibre dynamique entre tous les éléments qui déterminent la liberté de comportement. S'il existe de très fortes raisons de réagir d'une manière particulière (par exemple, de n'avoir qu'une femme), la probabilité de vivre selon une autre coutume est pratiquement nulle.

C'est précisément le rôle de la SEC. Ajouter un nouveau facteur à la constellation des déterminants du comportement. D'après les résultats obtenus sur des animaux, le comportement dépend de la somme des actes volontaires et induits par SEC et celle-ci est en général prépondérante. Viser à modifier, et modifier les réactions antisociales et anormales des malades mentaux est une pratique médicale acceptée. Les psychothérapies, l'utilisation de médicaments comme les stimulants et les tranquillisants, l'utilisation d'insuline, les électrochocs et d'autres types de traitements psychiques ont tout pour objectifs d'influencer la personnalité anormale du patient et de changer les

caractéristiques indésirables de son mental. En conséquence, la possibilité d'implanter des électrodes chez les malades mentaux ne devrait pas poser de problème éthique original si les règles habituelles de la médecine sont respectées. Peut être que l'efficacité limitée des procédures standard de psychiatrie sont une des raisons qui font que les scientifiques comme les profanes ne se sont pas trop interrogé à leur propos. Les psychothérapies nécessitent beaucoup de temps, et une personne peut réellement se retirer et refuser d'exprimer ses pensées intimes. L'électrochoc est une méthode grossière d'efficacité douteuse chez les personnes normales. Bien que la stimulation électrique du cerveau est encore dans la phase initiale de son développement, elle est au contraire beaucoup plus sélective et puissante. Elle peut retarder un battement de coeur, faire bouger un doigt, ramener un mot à la mémoire, ou induire une certaine humeur.

Lorsque les indications thérapeutiques sont claires et que les procédures thérapeutiques normales ont échoué, la plupart des patients et des médecins souhaitent tester une nouvelle méthode, à partir du moment où les possibilités de succès dépassent les risques d'empirer l'état du patient. La décision cruciale de commencer un nouveau traitement à des patients humains nécessite de combiner une évaluation intelligente des données disponibles, la connaissance de la neurophysiologie comparative, de la prévoyance, une intégrité morale et du courage. L'agressivité excessive d'un médecin peut causer des dommages irréparables, mais des précautions excessives peuvent priver le patient d'une aide nécessaire. Par exemple la lobotomie fut peut être appliquée à des patients trop vite, avant que ses dangers et limites ne soient comprises, mais la pallidectomie et la thalamotomie pour le traitement de la maladie de parkinson ont rencontré une formidable opposition initiale avant d'atteindre la reconnaissance et le respect qu'on leur porte de nos jours.

Alors que les traitements pharmacologiques et chirurgicaux des personnes souffrant de maladies mentales sont acceptés, le traitement des personnes ayant des comportements déviants pose d'autres types de problèmes éthiques. Il sont potentiellement dangereux pour eux-même et la société lorsque leur fonctions mentales sont maintenues dans des limites normales et un seul aspect de leur comportement est socialement inacceptable. Les droits d'un individu à être correctement soigné doivent être évalués lors d'une évaluation professionnelle de ses problèmes comportementaux et leurs origines physiologiques possibles. Ceci nécessite un jugement de valeur du comportement de l'individu par rapport aux normes acceptées. Voici un exemple pour illustrer ces considérations

Dans les années 1950, dans un hôpital psychiatrique, un patient s'est approché de moi et du Dr Hannibal Hamelin pour demander de l'aide. C'était une séduisante femme de 24 ans, d'intelligence et d'éducation moyennes qui avait un long historique d'arrestations pour troubles publics. Elle avait été impliquée à plusieurs reprises dans des bagarres de bar, où elle incitait les hommes à se battre contre elle et elle avait passé la plupart des années précédentes soit en prisons soit en institutions psychiatriques. La patiente exprimait un fort désir, en même temps que l'incapacité, de modifier son comportement. Puisque le traitement psychique avait échoué, elle et sa mère demandèrent expressément qu'une chirurgie du cerveau soit réalisée dans le but de contrôler son caractère impulsif indomptable. Elle demandèrent spécifiquement que les électrodes soient implantées de manière à permettre l'électrocoagulation d'une partie limitée du cerveau et, si cela n'était pas faisable, elles souhaitaient une lobotomie.

A l'époque les connaissances médicales et les expériences ne permettaient pas d'affirmer que la SEC ou la destruction de tissus cérébraux pouvaient aider à résoudre le problème de cette patiente. En conséquence la chirurgie fut rejetée. Lorsque cette décision leur fut exposée, la mère et la fille réagirent par des commentaires anxieux similaires, tels que « Quel vas être le futur? Uniquement la prison ou l'hôpital? N'y a-t-il pas d'espoir? » Ce cas montre les limites de la thérapie et le dilemme concernant un possible contrôle du comportement. En supposant qu'une stimulation d'une structure déterminée du cerveau, sur le long terme, puisse influencer les tendances du patient à boire, flirter et provoquer la bagarre, serait il éthique de modifier les caractéristiques de la personne? Le gens

modifient leur caractère en s'auto-administrant des médicaments hallucinogènes, mais ont-ils le droit de demander que les médecins leurs administrent des traitements qui vont radicalement altérer leur comportement? Quelles sont les limites des droits de l'individu et des obligations des médecins?

Alors que la science semble approcher la possibilité de contrôler beaucoup d'aspects du comportement de manière électronique et chimique, ces questions doivent trouver une réponse. Si, comme c'était le cas de cette patiente, la déviation du comportement l'amène à entrer aussi gravement en conflit avec la société, ce qui la prive de sa liberté individuelle, l'intervention médicale peut être justifiée. Le comportement criminel en général est un autre exemple de ce type de problèmes. Les décisions thérapeutiques impliquant une manipulation du psychisme nécessitent une intégrité morale et une formation à l'éthique. La formation scientifique se concentre principalement sur les sciences de la nature et néglige souvent l'étude et l'assimilation des codes éthiques, car elle les considère en dehors du monde de la science. On oublie peut-être que les chercheurs ont besoin d'avoir un ensemble de convictions et de principes non seulement pour gérer les fonds qui leur sont accordés, pour reconnaître le travail des autres, et pour avoir un comportement civilisé avec leurs collègues mais surtout pour qu'ils dirigent leurs vies et leurs recherches et prévoir les implications de leurs découvertes.

## A propos de l'auteur

Jose M.R. Delgado est né en 1915 à Ronda en Espagne. Il étudia la médecine à l'Université de Madrid où il fut Professeur Associé en physiologie jusqu'à 1950. Il vint alors à l'Université de Yale pour travailler avec le Docteur John Fulton. Il est maintenant Professeur de physiologie à Yale, où il a développé des techniques de stimulation électriques et chimiques du cerveau, appliquées à l'étude du comportement des primates et des humains. Il a publié plus de 200 communications scientifiques et il est une autorité reconnue en recherches neuro-comportementales.