autant que de telles études puissent être poursuivies. Si nous regardons en arrière, nous réalisons que l'actuelle envergure de ce travail, comparativement aux recherches physiologiques précédentes, est compliquée et coûteuse. Mais les recherches que nous poursuivons sur la nature fondamentale des facultés supérieures de l'homme, selon un plan tracé à l'avance, nous coûtent annuellement moins que la moitié d'un tank moyen, et l'argent dépensé dans toute l'Angleterre pour les recherches sur le cerveau représentent à peine un dixième du 1 % du coût du service national de la santé mentale.

CHAPITRE III

LA SIGNIFICATION DE « PATTERN »

Out of the earth to rest or range
Perpetual in perpetual change,
The unknown passing through the strange.
JOHN MASEFIELD

La seule assertion importante concernant le fonctionnement du cerveau humain dont nous ayons discuté jusqu'à présent est celle-ci : parmi les myriades de formes de tracés que montrent les enregistrements de son activité électrique, on en trouve quelques-unes qui semblent avoir une signification. Ce chapitre nous fera faire un pas de plus; nous commencerons à nous renseigner sur la signification particulière que nous pensons pouvoir assigner à certaines de ces formes. Mais, avant d'entreprendre cette très longue étape, il serait bon de faire deux choses : clarifier notre vision des horizons inconnus qui nous apparaissent, et poser cet axiome fondamental, que là où il y a *pattern* il y a signification.

Le thème principal du chapitre sera de présenter les contreparties physiques des phénomènes mentaux. Quand cette question est soulevée, il est courant de voir surgir deux attitudes à son égard, attitudes opposées et souvent polémiques, véritable renaissance de la vieille dispute à propos de l'esprit et de la matière et pour laquelle chaque génération trouve de nouveaux slogans. D'une part, certains considèrent les processus mentaux comme les résultats directs d'une activité nerveuse complexe branchée sur un environnement complexe; ils déclarent par conséquent que la raison humaine est facilement imitée et même dépassée par les machines électroniques. Ils peuvent même aller plus loin et suggérer qu'il ne s'agit plus que d'une question d'observation attentive et patiente et de raffinement technique pour que l'on parvienne à suivre les pensées de notre propre cerveau sous forme de décharges électriques.

Scanned by CamScanner

D'autre part, toute opinion préconçue mise à part et ne prenant en considération que la complexité physique du cerveau, son énorme agrégat de cellules, le chiffre encore plus astronomique nécessaire pour exprimer leurs combinaisons et permutations, la variété infinie de la pensée et de l'imagination humaine — ne tenant compte que de ces facteurs de conscience et de personnalité, il est bien permis de se demander comment de telles matières peuvent être renfermées dans une philosophie de la raison, ou même si cela est possible. Elles peuvent sembler appartenir à un autre « univers du langage », totalement inaccessible à notre technique d'examen, non pas simplement parce que, comme l'autre côté de la lune, il ne leur arrive jamais de nous faire face, mais parce que, comme un solide pour un habitant du *Pays plat*, elles existent dans une dimension qui, de par sa nature, ne peut pas être indiquée sur nos instruments de mesure.

Les psychiatres retrouvent ces oppositions chez leurs malades, et les théoriciens de la politique dans les événements historiques. Il faut aussi tenir compte du fait que le conflit n'existe pas seulement entre les individus, mais parfois déchire un seul et même individu; là où il y a conflit, il y a aussi flottement. On peut citer une raison générale expliquant pourquoi la relation cerveau-esprit est un sujet naturel de controverse et de flottement. Les fonctions mentales sont des adaptations actives alors que les études passées sur le cerveau ont presque toujours été statiques. Intervenant dans la discussion, les psychologues demandèrent comment fonctionne l'esprit, tandis que les physiologistes, plus modestes, demandaient encore ce qu'était le cerveau. La situation s'est modifiée au cours de ces dix dernières années, mais les physiologistes actuels, s'occupant d'un mécanisme d'adaptation, savent qu'ils ne recevront jamais deux fois exactement la même réponse à leurs continuelles questions et qu'il n'existe aucune vérité démontrable qui soit en même temps absolue et générale.

Le physiologiste doit donc rejeter les alternatives de la controverse. Il doit rejeter aussi bien la fantaisie matérialiste et facile de l'omniscience que le défaitisme de la raison cherchant à échapper aux difficultés présentées par la complexité du sujet. Il y a d'une part de nombreuses raisons d'être modestes à propos de ce qui a été découvert; chaque découverte nous conduit vers de nouveaux horizons inconnus. Quant à la complexité, ce n'est que l'arrière-plan de la vie elle-même. Au premier plan, nous allons découvrir ici la simplicité et l'économie, même dans les manifestations les plus riches de la vie.

Considérons maintenant la signification de ce que, même en français, il faut nommer *pattern*. La physiologie du cerveau repose à un tel point sur ce concept, qu'il faut d'abord bien le comprendre avant d'aller plus loin. Ce serait se tromper grossièrement de laisser croire par exemple, comme tant de paroles inexactes sur les « ondes cérébrales » l'ont suggéré, qu'il y a une raison quelconque de supposer

a priori que les tracés enregistrés de l'activité cérébrale ont une signification mentale quelconque. L'inverse est par contre vrai; les rythmes alpha, les plus saillantes de toutes ces oscillations, maintiennent leur forme plus régulière quand l'activité mentale est réduite au minimum.

« L'ordre est la première loi du ciel », écrivit Pope. Le « pattern » est la matière brute de l'ordre. On ne le considère pas toujours de cette façon, et on ne lui reconnaît même pas toujours une signification. Nous Anglais, nous avons une façon d'importer des mots dans un but précis et ensuite de les utiliser dans un autre tout à fait différent du premier, à la gloire de l'anglais et à la confusion des étrangers. Le mot « *pattern* » est l'un d'eux. Ce mot est venu d'Italie via la France : *pater, patron*; mais il n'existe aucun mot italien ou français traduisant l'anglais « *pattern* ». Les dictionnaires ne peuvent que faire supposer son sens avec des mots signifiant strictement modèle, dessin, échantillon, exemplaire, etc., tous aussi trompeurs que la précision peut l'être. Peut-être les Romains n'avaient-ils aucun besoin d'un tel mot; tant leur tradition était pénétrée de « pattern ». Les Romains divisaient régulièrement les journées sans tenir compte de leur durée, comme si les variations saisonnières étaient aussi négligeables que les marées de leur mer, et seul importait le pattern habituel de la journée. Pour nous Anglais, créatures de la périphérie glaciale, il était impossible d'échapper aux variations majestueuses de la lumière et de l'obscurité, rythme incalculable mais plein de sens. Les extravagances de son alternance millénaire sont imprimées dans notre nature; témoin les aberrations brillantes de la mentalité balte, où les surhommes se dessinent indistinctement dans le crépuscule des dieux.

Régulière ou irrégulière, l'alternance du jour et de la nuit fut probablement le premier pattern temporel qui impressionna le cerveau humain, accentué encore par l'obligation du sommeil d'avant la période de thermostabilité. On a également dû découvrir très tôt le pattern des appels typiques des animaux, la succession de phénomènes annonçant un orage, les mémorables cris de défiance ou de détresse; et finalement le plus précieux de tous les patterns, la parole. Cependant, longtemps avant elle, l'observation et la mémoire des patterns dans l'espace ont dû être très développées, bien que dans la pratique limitées à deux dimensions : la position relative de lieux, empreintes, trous d'eau, cavernes. Très tôt dans notre histoire, nous avons dû trouver satisfaction et sécurité à nous souvenir de patterns simples et à les reproduire.

« Pattern » peut ainsi être défini comme toute succession d'événements dans le temps, toute série d'objets dans l'espace pouvant être distinguée de toute autre succession ou série ou comparée avec elle. Le premier attribut significatif d'un pattern est que l'on peut s'en souvenir et le comparer avec un autre. C'est ce qui le distingue d'événements surgis par hasard ou dépourvus de sens. Car la notion de

Scanned by CamScanner

hasard — en anglais *random*, autre mot importé et perdu pour les langues romanes — implique que le désordre est au-delà de toute comparaison; on ne peut pas se souvenir du chaos ou comparer un chaos avec un autre; ce mot ne possède pas de pluriel. Le pattern est une qualité des choses familières, et les choses familières sont réconfortantes. Il est beaucoup plus exact de dire que l'homme abhorre le chaos que de dire que la nature a horreur du vide. L'homme recherche le pattern pour son propre confort et, en anglais tout au moins, il peut se vanter d'être un animal créateur de patterns, un *pattern-making animal*.

D'une façon générale, on peut dire que les sciences proviennent de la recherche de patterns, et les arts de leur création, bien qu'il y ait une relation beaucoup plus étroite qu'il ne semble entre la recherche et la création de patterns. Il vaut la peine de rappeler quelques autres exemples de recherche de patterns comme origine d'une science.

Quand pour la première fois l'homme, dans l'enfance de la race, regarda vers le ciel nocturne, il reconnut des patterns dans le cortège désordonné des étoiles, et les noms pittoresques qu'il a donnés aux constellations sont toujours utiles aux astronomes et constituent le début de leur science. La géométrie, la première science abstraite, naquit du besoin de restaurer à chaque saison dans la vallée du Nil les patterns de la propriété. La théorie de la gravitation en astronomie, comme beaucoup d'autres, provient de ce que Newton perçut un pattern commun aux rapports réciproques des corps physiques. C'est le pattern de parentés entre plantes, que Linné transforma en une classification qui est à l'origine de la botanique. Les biologistes sont toujours en train de remplir et de compléter le pattern des espèces que Darwin trouva dans le monde animal. Plus récemment, Mendel découvrit le pattern de l'hérédité, la science de la génétique. Clerk Maxwell, méconnu il y a cent ans, excepté comme mathématicien compétent, dota sa génération d'un prophétique énoncé des patterns des forces électriques sans lequel il n'y aurait aujourd'hui point d'électronique.

Connaissant bien cet empressement à discerner des types et la tentation qu'il y a à les imaginer, le père français de la physiologie, Claude Bernard, qui ne possédait pas le mot « pattern », refusa et dénigra toute adhésion à un « système » quelconque. Un homme de science, dit-il, devrait se rendre compte que « les systèmes n'existent pas dans la nature, mais seulement dans l'esprit des hommes ». Le paradoxe que « la philosophie ne devrait pas être systématique » fut pris quelque soixante ans plus tard par un compatriote de Claude Bernard, Bergson, comme une pierre angulaire de sa philosophie. On n'aurait pas pu montrer plus joliment l'ironie d'un chasseur de patterns aussi invétéré que Claude Bernard estimant soit que les esprits des hommes sont en dehors de la nature, soit que la nature est chaotique.

Finalement, parmi ces pères de la science, Berger prend une position assez étrange comme candide chercheur de pattern dans l'activité électrique de son cerveau, négligeant audacieusement les affirmations de Claude Bernard, selon lesquelles il ne devrait le chercher que dans son esprit.

Mais aussi, sans la création humaine de patterns, aucune de ces brillantes perceptions de pattern n'aurait été possible, ni même transmissible. Dans chaque cas on ne disposait que de quelques fragments d'information, avec de nombreux autres morceaux de quantités inconnues, comme dans l'image de la nature cryptographique des tracés EEG au chapitre précédent. La réunion de tels fragments d'information et d'interrogation, de quantités connues et inconnues, ne devint possible pour la première fois que lorsque les Arabes inventèrent les patterns permettant de manipuler, assembler, mettre en équation, évaluer logiquement des pièces visibles et invisibles, en un mot quand ils inventèrent l'algèbre. Comme nous l'avons vu, la physiologie classique ne tolérait qu'une seule inconnue dans ses équations; autrement dit, dans toute expérience, on ne pouvait rechercher qu'une seule chose à la fois. C'était la physiologie arithmétique : on sortait un seul nombre d'une série connue, on l'examinait, le modifiait, le remplaçait et on en observait les effets sur toute la série. Le pattern de l'EEG n'est jamais ni simple, ni unique. Nous ne pouvons pas en extraire une seule variable indépendante, selon le procédé classique; nous devons nous occuper toujours de l'interaction de nombreuses inconnues et variables. Nous devons traiter les rythmes d'une façon algébrique.

En pratique, cela implique qu'il ne faut pas faire une seule observation, mais autant d'observations que possible en une seule fois et les comparer les unes avec les autres. De plus, toutes les fois que cela est possible, il faut se servir d'une variable connue simple pour modifier les nombreux complexes d'inconnues, afin de pouvoir déterminer leurs tendances et leur interdépendance. C'est une opération analogue à la solution des équations simultanées; nous décrirons en détail son côté pratique quand nous discuterons les buts et effets de la stimulation par scintillation. Nous devons d'abord envisager les principales variétés de patterns spontanés observées et comment elles atteignent le cerveau à partir des différents organes sensoriels.

L'anatomie et la structure détaillée du système nerveux sont si compliquées et si bien décrites ailleurs que le lecteur obligé de se figurer concrètement une structure pour pouvoir se représenter une fonction ferait bien de consulter l'un des ouvrages énumérés dans la bibliographie. Les physiologistes trouvent commode de diviser tout le système nerveux en deux parties principales : le système sensoriel, qui

Scanned by CamScanner

comprend les mécanismes récepteurs ou afférents, et le système moteur, qui comprend les mécanismes effecteurs ou efférents. La partie sensorielle comprend les organes des sens, les troncs nerveux sensoriels, chacun contenant des myriades de fibres nerveuses très fines, leurs relais se prolongeant le long de la moelle épinière et se terminant à la surface de la moitié postérieure du cerveau, l'écorce sensorielle. Le système moteur comprend l'écorce motrice ou cortex moteur, dans la partie antérieure du cerveau, les nerfs moteurs, ainsi que les muscles et les glandes qui agissent sur le corps lui-même ou sur le monde extérieur. Il existe ainsi un circuit complet de l'information et de l'action : événement, récepteur, nerfs, cerveau; cerveau, nerfs, organe effecteur, événement. Les propriétés d'un tel circuit sont si extraordinaires que les physiologistes se sont contentés pendant de nombreuses années d'en étudier les fonctions les plus simples. Les anatomistes, de même, recherchèrent sans relâche les caractères structuraux qu'ils supposaient être à sa base et qui refléteraient le pattern fonctionnel simple révélé par l'expérience. Mais, tout comme les phrénologistes discrédités — qui nous ont volé le nom le plus propre à la science que nous présentons ici — découvrirent trop de significations dans leurs bosses, ainsi les microscopistes, et il faut le confesser, quelques électrophysiologistes, crurent trouver un système dans le cerveau, là où d'autres n'en trouvaient aucun; ils commirent l'erreur de confondre la simplicité de leurs méthodes avec l'uniformité de leur matériel.

Il est vrai que certaines parties du cerveau ont une apparence microscopique régulière et reconnaissable et qu'elles répondent d'une façon assez prévisible à la stimulation électrique. La maladie ou la lésion de ces parties a pour conséquence l'apparition de certains signes ou symptômes qui en permettent le diagnostic. Mais les exceptions à ces règles sont si nombreuses et leur base expérimentale si ténue qu'il existe actuellement une tendance à soutenir une théorie « holistique » du fonctionnement cérébral, à savoir que toutes les parties du cerveau jouent un rôle dans toute réception sensorielle ou dans tout acte effecteur, et que la localisation d'une fonction tient davantage à une probabilité qu'à un endroit déterminé. Dans un tel système, on doit certainement trouver un pattern, mais il ne serait pas reconnaissable au premier coup d'œil ou descriptible en une seule phrase. Le fait même que nous en ayons une telle idée est dû aux activités obscures des régions cérébrales qui résistent le plus à la recherche expérimentale, les zones d'association, parfois appelées « zones muettes » parce que leurs oracles sont muets quand ils sont menacés par un intrus au cours d'une expérience. Ces régions constituent la plus grande partie du cerveau humain et elles sont étroitement reliées aux zones réceptrices, où parviennent le plus souvent les impulsions parties des récepteurs.

Nous avons suggéré que les zones de réception sensorielles ressemblent davantage à des « propriétés à bail » qu'à des « propriétés libres » dès sens, si vagabondes sont les fonctions du cerveau. Avant qu'on sache comment ils fonctionnent, ces systèmes sensoriels étaient habituellement comparés à des liaisons téléphoniques, simplement parce que l'on savait que des messages circulaient entre les organes terminaux et le cerveau. Le goût, le moins important de nos sens, pouvait alors facilement être décrit comme un échange local avec très peu de lignes extérieures, et seulement quatre numéros particuliers : le doux, l'acide, l'amer et le salé. Mais l'analogie est aussi trompeuse qu'il est possible de l'être. Expliquons-nous.

Dans un système téléphonique, la signification d'un message reçu dépend de l'expéditeur; dans un système sensoriel, la signification dépend du récepteur. Quand des impulsions nerveuses partent d'un organe sensoriel, c'est leur destination dans l'écorce cérébrale qui détermine en tout premier lieu le caractère de la sensation et non pas l'organe sensoriel dont elles proviennent. Si vous demandez un numéro au téléphone et que vous délivriez un message, celui-ci demeure toujours le même, que le numéro appelé soit juste ou faux. Le résultat d'une erreur de numéro dans le cerveau est tout à fait différent. Supposons qu'un peu de vinaigre vienne en contact avec l'un des organes sensoriels terminaux du goût au bout de votre langue et que « le numéro demandé soit faux », c'est-à-dire que la fibre nerveuse conduisant l'impulsion provoquée par le vinaigre, au lieu d'être reliée avec sa propre zone de réception, ait été d'une façon ou d'une autre coupée et greffée sur une fibre nerveuse allant de l'oreille au cerveau, quel goût pensez-vous ressentir ? Vous n'auriez aucune sensation gustative. Vous entendriez un bruit subit et fort. Vous auriez la même hallucination chaque fois que cette terminaison nerveuse du bout de votre langue serait stimulée. Si au contraire, c'était un nerf auditif qui se trouve ainsi relié à un nerf optique, vous auriez des visions chaque fois que vous entendriez de la musique. C'est la base mécanique des hallucinations. De tels accidents ont très peu de chances de se produire dans le système nerveux périphérique, où des arrangements anatomiques spéciaux permettent d'éviter des croisements, mais ils se produisent à l'intérieur du cerveau lui-même.

La question n'est évidemment pas tout à fait aussi simple qu'elle n'est esquissée ici; le lecteur voudra bien ne pas chercher non plus dans ce qui suit un exposé complet sur les mécanismes des sensations. Mais une généralisation me semble sûre à propos de tous les sens : ce que l'on nomme en général la qualité d'une sensation dépend des parties du cerveau atteintes par les impulsions nerveuses, et l'intensité de cette sensation dépend de la fréquence des impulsions.

L'odorat, la meilleure partie du goût, est plus intéressant parce qu'il possède une plus grande variété de sensations et beaucoup plus

Scanned by CamScanner

de liaisons avec les patterns d'activité du cerveau et les émotions. Les réactions des organes olfactifs aux molécules qui ont une odeur distincte peuvent être observées sous la forme d'impulsions allant vers le cerveau. Leur pattern dans un tracé EEG montre que la fréquence de l'impulsion augmente avec l'intensité de l'excitation. Mais on ne voit pas aussi clairement comment le cerveau fait la différence entre plusieurs odeurs. Adrian, qui fit d'importantes recherches dans ce domaine, trouva une différence légère mais nette de la sensibilité des différents récepteurs aux différentes sortes d'odeurs, et il semble que les impulsions quittant les organes olfactifs sont relayées par des zones réceptrices spécialisées et dirigées vers la zone réceptrice sensorielle principale pour le nez et la bouche, sur la surface latérale du cortex cérébral. Ainsi, on ne sait pas encore bien si tout le pattern de l'odorat est relié à une seule partie de l'écorce cérébrale ou si ses différentes composantes vont à des parties différentes pour être réassemblées et discriminées ensuite.

Le toucher occupe une surface considérable de ce que l'on peut décrire comme une carte géographique plissée et flottante dans le cortex cérébral. Il fallait s'y attendre si l'on considère le degré de discrimination dont nous avons besoin pour savoir d'où un message tactile provient. Tous les organes des parties du corps sont représentés sur cette carte, non selon leurs proportions visibles, mais d'après l'équipement nerveux et l'importance de chaque partie, la bouche prenant plus d'importance que les joues, les doigts plus que les bras, etc. La toile de patterns tissée par les nombreux organes terminaux sur cette abstraction luisante de notre chair est si inextricablement enchevêtrée qu'il pourrait bien se passer encore quelque temps avant qu'on en ait fait une étude satisfaisante. Du reste, sa complexité n'est pas seulement quantitative.

Le sens du toucher est le plus vital de nos sens, ne fût-ce qu'à cause de son rôle majeur dans la reproduction. Et ici nous atteignons une limitation de l'émancipation du cerveau, dans laquelle on peut trouver quelques arguments physiologiques pour la thèse de Freud concernant le caractère mental importun du sexe. L'isolement opérationnel de la fonction sexuelle est singulier. Les rapports sexuels et l'acte de procréation ne sont pas nécessairement des actes conscients; ils ne sont pas non plus accomplis naturellement sous l'initiative directe des centres supérieurs; cependant, des excitations sensorielles constantes parviennent des organes vers le cerveau. Le cerveau est là plutôt comme une unité de renseignement en campagne, qui peut recevoir des informations mais ne peut transmettre aucun ordre tactique. La stratégie est évidemment une autre question, ainsi que la discipline et l'art. De nombreux peuples civilisés ont cherché à doter le sexe d'un rituel déterminé, ce qui a au moins pour effet de fournir un pattern de comportement sexuel pour le cerveau. Du point de vue physiologique, un art particulier ou une discipline de ce genre serait préférable à l'excitation modérée mais incessante des arts populaires d'aujourd'hui, excitants sans être créateurs. Dieu sait quelles mutations cette titillation peut favoriser avec le temps, mutations ni aussi nobles que celles des amphibiens, ni aussi décoratives que celle des plantes. Puritains et sensualistes sont d'accord pour affirmer que les plaisirs tactiles non guidés par un art particulier sont, comme dit Hobbes, grossiers, bestiaux et brefs.

Dans ce domaine, les aveugles pourraient nous enseigner beaucoup de choses concernant les emplois intelligents, artistiques aussi bien qu'utilitaires, du sens du toucher. La personne qui se fait une image d'un objet spatial en le touchant, ou qui examine le symbole plastique d'un code verbal, accroît les transformations de pattern temporel et de pattern spatial, et cela avec un raffinement et une concentration qui ne peuvent manquer d'être significatifs. La plupart des gens ont un sens tactile rudimentaire, ambigu, inconsistant et inférieur.

On considère souvent la douleur comme une exagération désagréable du sens du toucher, ce qui est une erreur. En fait, il s'agirait plutôt d'un sixième sens. La douleur possède ses propres organes terminaux intérieurs et extérieurs et ses connections nerveuses exclusives. Les messages les parcourent à une vitesse beaucoup plus faible que ceux du système tactile et des autres systèmes sensoriels. La reine Blanche était plus sage qu'Alice ne le pensait quand elle criait avant de se faire mal, plutôt qu'après. C'est ce que nous faisons en effet toujours. Si vous marchez sur un clou, vous sursautez d'abord et vous ne sentez la douleur qu'ensuite. Les signaux du réflexe prennent moins de temps pour accomplir leur voyage aller et retour que la sensation douloureuse n'en exige pour atteindre le cerveau. Essayez-le, vous serez surpris.

Les patterns de l'ouïe viennent seulement en second lieu au point de vue intérêt, après ceux des yeux. N'importe quel son, que ce soit une note simple ou plusieurs notes simultanées constituant un bruit ou se combinant en un accord musical, est un phénomène qui se passe dans le temps. L'aspect spatial d'un accord n'est que symbolique. Une note doit avoir un minimum de durée; elle doit être tenue suffisamment longtemps pour que son pattern d'onde se répète, comme celui d'une tapisserie, afin qu'elle soit reconnaissable. Plus la note est basse et plus elle doit être maintenue longtemps; un accord trop bref perd ses basses. Mais le pattern d'un son intéressant l'oreille et le cerveau possède d'autres qualités à côté de la durée ou du rythme. Il faut aussi identifier la hauteur, le timbre et l'amplitude. Mais avant que le pattern d'un son atteignant l'oreille puisse être transmis et distribué au cortex, ses composantes doivent être identifiées. L'accord doit être analysé.

Scanned by CamScanner

C'est le travail du limaçon, un petit organe enroulé faisant partie de l'oreille interne, à ne pas confondre avec le tympan, qui est comparativement sans importance. Les tubes enroulés du limaçon ont moins de 2,5 cm de long, mais ils sont reliés ensemble d'une façon telle que le liquide contenu dans leurs différentes parties vibre en réponse à n'importe quel son audible ou harmonique. Les vibrations d'une fréquence donnée activent une certaine partie du tube auquel une membrane réagissante est attachée, et, de cette partie du canal, une fibre nerveuse transmet un signal à un point de la zone réceptrice de l'écorce cérébrale. Ainsi la hauteur, c'est-à-dire la fréquence d'onde d'une note, est convertie en un point unique pour discrimination spatiale, et il en est de même pour tous les harmoniques de son timbre. Sa caractérisation par la fréquence d'onde cesse au niveau du limaçon. La fréquence des impulsions nerveuses indique l'amplitude ou volume de la note. Plus le son est puissant et plus l'impulsion est répétée rapidement.

Il y aura d'autres choses à dire plus tard à propos de la sensibilité du cerveau au bruit pendant le sommeil, comparativement à sa sensibilité à la lumière ou à toute autre sensation. La musique est proverbialement en rapport avec la vie émotive; parmi les multiples faits habituels quotidiens de notre vie, elle nous procure des milliers d'exemples prouvant que les choses familières sont aussi des choses rassurantes. Certains rythmes renforcent l'activité normale du cerveau; d'autres peuvent la suspendre ou la dissiper. L'objection que l'on fait à l'émission constante de flots de musique légère n'est pas que la musique est légère, mais qu'elle est hypnotique et que ses associations maintiennent un pattern constant de titillation légère.

Le lecteur peut éprouver la suggestibilité du cerveau et ses affinités pour le rythme. Ecoutez le tic-tac régulier d'une montre, et notez combien de temps il faut pour que cette suite régulière de sons égaux se résolvent en groupes de deux, trois ou quatre tics. Cette affinité pour le rythme, la relation étroite entre patterns sonores externes et patterns intracérébraux suggère une raison expliquant pourquoi la perte de l'ouïe, qu'aucun autre sens ne peut remplacer, est si pénible à supporter; mais une autre raison pourrait aussi jouer un rôle : les oreilles n'ont aucune expérience naturelle de la surdité ni aucun mécanisme permettant d'exclure temporairement le monde sonore, comme par exemple l'obscurité ou l'abaissement des paupières, qui nous familiarise un peu avec une cécité transitoire.

La prééminence de la vision s'appuie sur des organes d'une élaboration et d'une sensibilité extrêmes et sur la proportion impressionnante de l'activité cérébrale réservée à ce sens. C'est ici que l'émancipation du cerveau des services subalternes des sens devient la plus apparente. Toutes les opérations auxiliaires compliquées de la vision ont été reléguées aux centres cérébraux inférieurs. On peut comparer

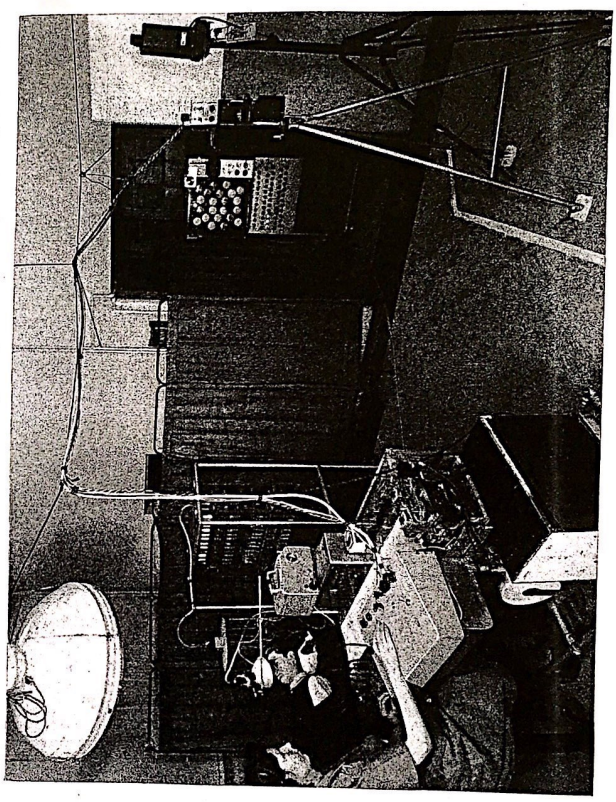

Fig. 4. « *Ce panorama mouvant des rythmes cérébraux...* »
Le laboratoire du toposcope. Le divan d'examen pour le sujet et le stroboscope (réflecteur à lumière intermittente) à déclenchement automatique à l'extrême gauche; derrière le pupitre de l'enregistreur à 6 dérivations à inscription à plumes avec tableau de contrôle séparé. L'amplificateur du toposcope à 22 dérivations est à l'arrière-plan, le tableau de projection au centre vers la droite, la caméra et le projecteur à l'extrême droite. *p. 44*

Scanned by CamScanner

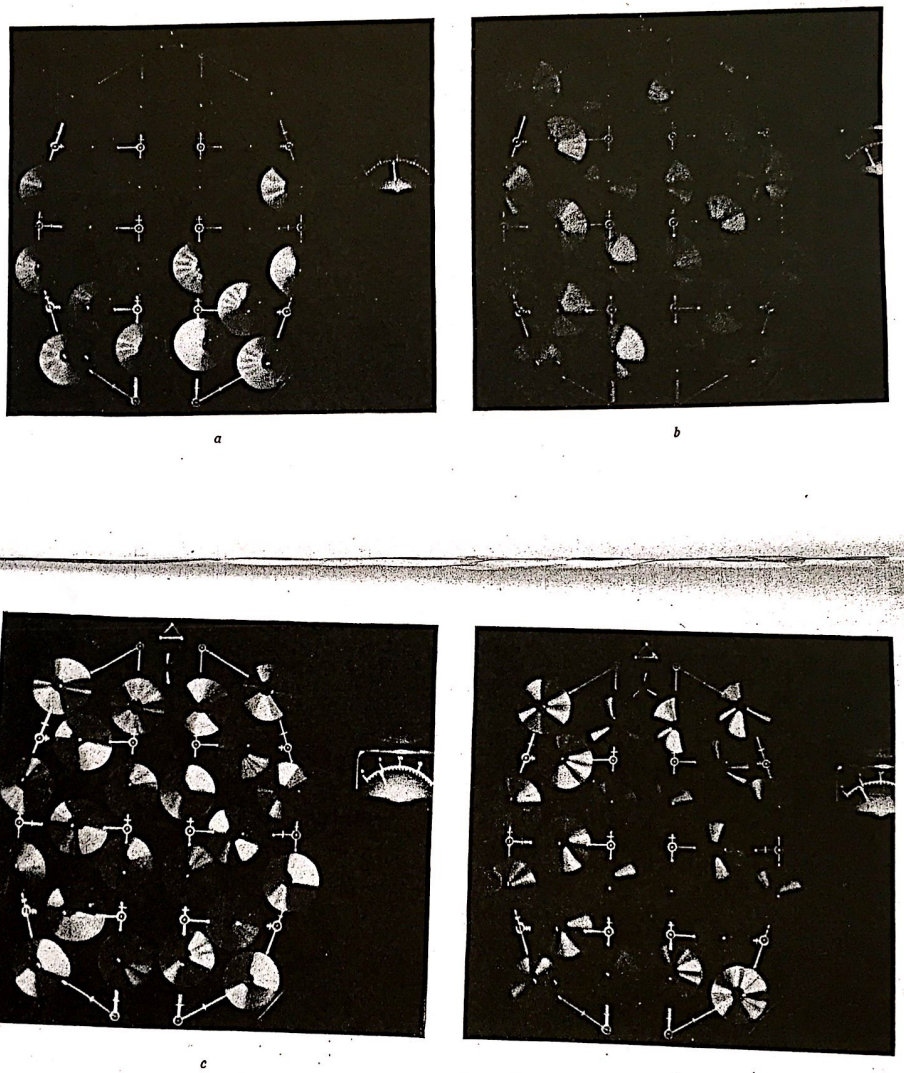

Fig. 5. « *... un pattern fugitif, un pattern toujours significatif bien que jamais persistant...* »
Instantanés du « champ étincelant de points rythmiquement lumineux ». Chacun des écrans des tubes, dont l'ensemble forme un schéma de la tête vue par-dessus, le nez dirigé vers le haut, montre par les secteurs éclairés de son disque l'activité de la surface correspondante du cerveau. *p. 45*

a) Rythmes alpha de repos.
b) Rythmes thêta au cours d'une colère.
c) Réaction étendue à des éclairs lumineux doubles.
d) Extension de la réaction à un triple éclairement.

Scanned by CamScanner

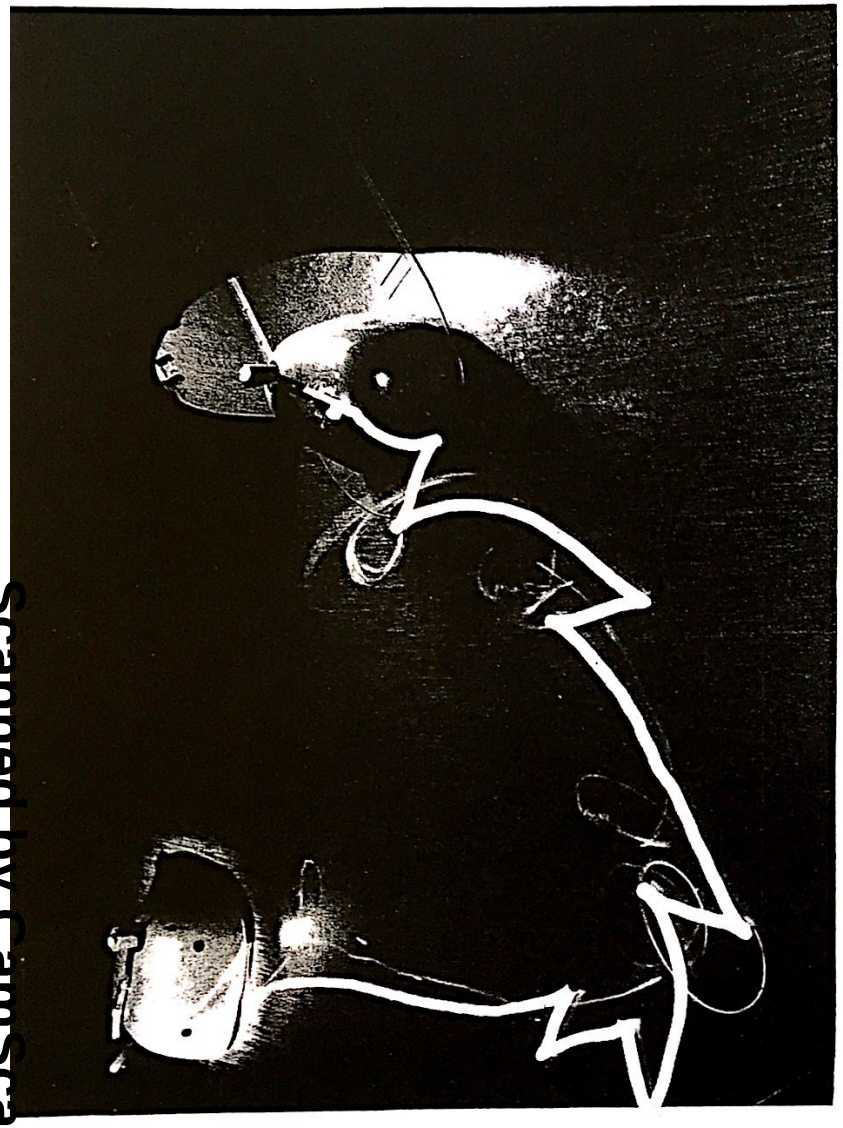

Fig. 6. « *La modération a fait place à l'appétit.* »
Machina speculatrix trouve le chemin de son logis. *p. 94*

la position du système nerveux à celle d'un studio cinématographique. Le directeur ne s'occupe pas des détails du maniement des caméras; distance focale, ouverture, temps d'exposition, tous ces détails sont réglés d'une façon experte sans qu'il ait aucun ordre à donner. Mais leur mise en position et leur direction sont une grande part de son habileté réalisatrice, et le choix de la distribution, du lieu ou des heures de travail dépend de son autorité. Il n'est lui-même nullement contraint de remarquer ce qui est pris. Bien souvent, dans notre propre expérience, nous nous rendons compte qu'il ne voit tout simplement pas ce que nous sommes en train de regarder ! Vu par lui ou non, le film est projeté dans la salle de projection; les images atteignent la zone de projection du cortex. Vues ou pas vues, elles vont aux archives; toute l'histoire du commencement à la fin peut être disponible dans le mystérieux cabinet de la mémoire, et cela longtemps après l'avoir complètement oubliée.

Toutefois, l'analogie avec la photographie s'écroule quand nous en venons à regarder le mécanisme de la vision. Pour illustrer la différence, considérons ce qui se passe quand nous regardons la scène la plus simple, une scène dans laquelle tous les détails demeurent les mêmes pendant longtemps, un vrai pattern spatial, disons un paysage. Vous pensez peut-être que vous pouvez saisir d'un seul coup d'œil la totalité d'une scène statique de ce genre, ainsi qu'un appareil photographique le fait, sans mouvoir vos yeux. Mais les yeux ne fonctionnent pas de cette façon. Un coup d'œil instantané ne permet pas à votre rétine de vous montrer une image identique à celle que donnerait l'appareil photographique. Le maximum de ce que votre rétine obtiendra d'un simple coup d'œil rapide sera un très petit centre clair, au milieu d'un large champ de détails tout à fait indistincts. L'explication en est simple. Il est vrai que la lentille de l'œil ressemble à celle d'un appareil photographique bon marché, mais, à un point de vue important, la rétine sur laquelle l'image est projetée n'est pas du tout semblable à une plaque ou à un film photographique. La surface entière d'un film photographique possède un grain uniforme; les particules de matière chimiquement sensible qui la composent sont réparties à une distance égale les unes des autres et sont de sensibilité égale. La surface de la rétine ne possède pas cette uniformité. Seule une toute petite tache d'environ un tiers de millimètre de large au centre de la rétine a un grain suffisamment fin pour recevoir et transmettre une image très détaillée. Cette tache contient des cellules spécialement sensibles à la lumière, les cônes, qui disposent chacun de fibres nerveuses individuelles menant au cerveau. Autour de cette tache se trouvent des groupes d'autres cônes, ainsi que des bâtonnets, plus sensibles mais plus clairsemés et moins bons séparateurs; chaque groupe de cellules sensorielles possède en commun une seule fibre nerveuse les reliant au cerveau. Cette disposition

Scanned by CamScanner

procure une haute capacité à percevoir les détails au point central très délimité de la scène vers laquelle l'œil est dirigé, avec partout ailleurs un très faible pouvoir de discrimination mais une plus grande sensibilité.

Le lecteur peut sans poser ce livre faire la preuve de cette différence entre l'acuité centrale et périphérique de l'œil. Ouvrez ce livre à une nouvelle page quelconque, et, dès que cela est fait, vous fixez immédiatement votre regard fermement sur le premier mot que vous rencontrez au centre de la page. Si vous ne bougez pas du tout vos yeux, vous vous rendrez compte que vous ne pouvez lire qu'un ou deux mots seulement, tout le reste de la page restant indistinct et tout à fait illisible, bien que visible. Ce n'est pas seulement une affaire de foyer. Pour lire cette page, vous la scrutez ligne par ligne, vos yeux se meuvent de façon à porter chaque mot l'un après l'autre au centre du champ visuel; les images sont alors reçues sur la très petite tache de la rétine qui possède un grain suffisamment fin pour distinguer les détails permettant de les reconnaître.

La proportion de champ visuel capable de recevoir une image précise ne représente environ qu'un centième du tout. L'angle sous-tendu par cette très petite surface est d'environ 2° sur 180°, le champ visible représentant un peu plus d'un demi-cercle. Ainsi, pour regarder ce paysage que vous pensiez pouvoir saisir d'un seul coup d'œil, vous devez faire plusieurs centaines de coups d'œil nécessitant des milliers de mouvements oculaires coordonnés épluchant toute la scène. Si on ajoute à cela l'effort supplémentaire requis pour discriminer les couleurs et la position dans l'espace, cela semble fatiguant. Et c'est physiologiquement réellement le cas. Il est beaucoup plus aisé pour le système nerveux de regarder la photographie d'un paysage que de regarder le paysage lui-même. La reproduction d'une scène qui en nature s'étend sur plus de la moitié du champ visuel, réduite en dimensions pour sous-tendre un angle plus petit, disons de 10°, et ramenée à deux dimensions et privée de détails peu importants, permet une grosse économie d'efforts. La surface à scruter est réduite au 1/100 de la grandeur naturelle environ. La diminution de tension a, sans nul doute, quelque rapport avec le plaisir particulier que nous ressentons à regarder une peinture ou une photographie.

La phase suivante du processus de la vision est le transfert de l'image rétinienne vers la zone de projection du cerveau. Cette partie du cortex cérébral ne mesure pas plus de 6,75 cm² environ et se trouve tout en arrière du cerveau. Elle est reliée à la rétine par les fibres nerveuses des bâtonnets et des cônes, un million d'entre elles environ constituant le nerf optique. La totalité de l'image rétinienne est transmise en même temps au cortex. Les mouvements des yeux ont pour effet de porter tour à tour les différentes parties de l'image sur le macula, la minuscule tache de rétine destinée à la vision nette.

La transmission de l'image de la rétine à l'écorce cérébrale est continue, mais la rétine n'est pas un transmetteur tout à fait fidèle. Chaque image qu'elle perçoit subsiste 1/10 de seconde. Si donc les images se succèdent rapidement, l'effet de l'une recouvre la suivante. C'est ce phénomène bien connu de persistance de l'impression visuelle qui rend difficile la perception des détails d'un mouvement rapide et qui fait paraître continue une lumière rapidement intermittente.

Rappelons que cet effet de chevauchement fut curieusement relié à une question de course de chevaux, et que cette liaison eut un résultat populaire du plus grand intérêt. On a pendant longtemps discuté pour savoir si un cheval au galop avait, à un moment donné, tous ses sabots au-dessus du sol en même temps. L'œil ne pouvait pas suivre continuellement le mouvement, du fait de la persistance des impressions visuelles; il ne pouvait pas non plus l'arrêter pour l'analyser. Pour résoudre la question, on fit une série successive de photographies à de très courts intervalles. Elles montrèrent que le cheval était en fait entièrement en l'air pendant une fraction de seconde; mais, ce qui était plus important pour cette génération, on trouva que la vision des photographies se succédant rapidement donnait l'illusion d'une image en mouvement.

Le processus de la vision n'est toutefois pas complet quand l'image atteint la zone de projection. Chaque sensation rapportée au cortex par le million de fibres nerveuses provenant de la rétine doit pouvoir être transmise à d'autres parties du cerveau pour être reconnue. Cela représente évidemment un plus grand problème mécanique que la discrimination d'un nombre limité de signaux des autres sens. Un moment de réflexion montrera aussi que le nombre de lignes de communications directes qui seraient nécessaires pour que le million d'unités visuelles du cortex puissent communiquer avec le reste des 10 000 millions de cellules du cerveau dépasserait la capacité de logement du crâne. Le nombre de fibres devrait être de l'ordre de $10^6 \times 10^{10}$ ou, pour les non-mathématiciens, de 10 000 000 000 000 000. Une maison, et à plus forte raison une tête humaine, ne les contiendrait pas.

Le hasard révéla la piste d'une éventuelle solution de ce problème, et nous l'avons suivie au laboratoire avec une certaine satisfaction. L'intérêt de cette piste nous invite à reprendre un récit interrompu à un moment de l'histoire de la découverte du cerveau qui peut fort bien constituer le début du prochain chapitre.

Scanned by CamScanner

CHAPITRE IV

RÉVÉLATION PAR LE STROBOSCOPE

Between the conception
And the creation
Between the emotion
And the response
Falls the Shadow

T. S. ELIOT

L'évolution de la cellule au cerveau requit quelque 2000 millions d'années; la reconnaissance du cerveau par le cerveau ne survint qu'après plusieurs milliers d'années de maturité intellectuelle; son acceptation comme un organe propre à être étudié par la physiologie, malgré sa complexité formidable, est récente. Le stade suivant de ses révélations progressives passe rapidement le chemin étroit sur lequel la recherche se trouva inévitablement comprimée au cours des années de guerre, pour s'élancer ensuite dans les espaces libres de l'exploration sur une nouvelle voie d'accès vers les sommets de la pensée et de la personnalité, déjà visibles à l'horizon.

La guerre de 1939 nous surprit avant que nous ayons eu le temps de faire grand cas du vaste champ que Pavlov et Berger avaient ouvert devant nos yeux de jeunes physiologistes. Depuis cette époque, il est possible de distinguer quatre phases dans le développement des études sur le cerveau.

1. La première période, qui s'étend de 1928 à 1935, fut une période de scepticisme général; les observations originales de Berger furent négligées, l'exploration de Pavlov fut sous-estimée, on méconnut toute possibilité d'une relation entre elles. Les moyens techniques de cette période étaient si maigres et les données de Berger si piètrement présentées qu'il ne faut pas s'en étonner.

2. La seconde phase commence quand Adrian et Matthews, grâce à une expérimentation plus soigneuse avec un équipement meilleur, purent confirmer d'une façon générale les affirmations de Berger concernant « le rythme alpha ». Cela mit le sceau de l'approbation

Scanned by CamScanner

académique à l'étude du cerveau. En même temps, des études clin
et expérimentales pratiquées au Laboratoire central de patho
et à l'hôpital Maida Vale, confirmèrent ce que Golla avait supposé en 1929 déjà, c.-à-d. que des modifications des rythmes électriques du cerveau auraient de la valeur au point de vue diagnostic. Ces études aboutirent à l'identification d'un autre type d'activité électrique, dont l'importance fut immédiatement reconnue pour la clinique, mais plus tard seulement pour la recherche. Etant donné l'association de ce nouveau rythme avec la maladie, la dégénérescence et la mort, trois mots qui en anglais commencent par la lettre *d*, on lui donna le nom de *rythme delta*. Mais ce rythme est aussi en rapport avec la défense. En effet, l'association de ces rythmes plus lents avec la maladie ne semble pas être accidentelle, mais plutôt le signe de la mobilisation d'une défense organisée. Nous avons trouvé que ce type d'activité électrique permettait de localiser sans inconvénient pour le patient le siège d'une tumeur cérébrale. Il prend naissance dans les régions comprimées ou envahies par des tumeurs, ou altérées par des lésions; mais c'est le rythme normal et même dominant au cours de la première année de la vie et pendant le sommeil (voir fig. 7).

Vers la fin de cette période, les succès de l'EEG en clinique, ainsi que d'autres découvertes promettant de nous faire pénétrer quelques-uns des mystères de l'épilepsie, furent suffisamment grands pour détourner presque tous les chercheurs des problèmes fondamentaux. Et cela fut en un sens heureux — comme une préparation à l'interrègne technologique de la guerre. Deux autres nouveautés de cette période, la thérapeutique par l'électrochoc et la leucotomie, sont également un indice du changement radical d'attitude qui était en cours à l'égard du cerveau. Leur principal intérêt pour nous, ici, est leur interférence physique avec la personnalité et elles seront discutées plus tard à ce propos.

3. La période de guerre exigea le rapide développement des techniques d'exploration cérébrale comme accessoire clinique ainsi que l'étude et la fabrication de meilleurs appareils d'EEG, l'entraînement des assistants et la formation de sociétés spécialisées — développements qui ne se seraient probablement pas produits avant longtemps si la recherche physiologique avait été prédominante. Le Royaume-Uni comptait deux laboratoires d'EEG au début de la guerre et 50 à la fin. La première société nationale d'EEG fut avant tout formée pour mettre notre fond de connaissances à disposition des centres s'occupant de blessés militaires. A la première réunion de ce groupe, tenue littéralement en pleine bataille de Londres, on se mit d'accord sur des critères d'anormalité électrique et l'on constitua un glossaire de termes.

Mais l'enregistrement et l'interprétation d'EEG est une tâche délicate et compliquée; elle requiert en quelque sorte la combinaison de l'entraînement du technicien radiographe, qui étudie pendant deux

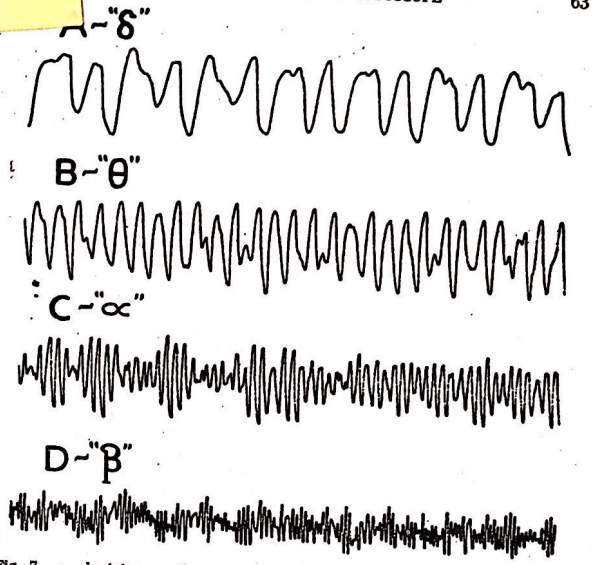

Fig. 7. « *... la fréquence d'un rythme est plus significative que son amplitude...* »
Principaux types de rythmes cérébraux. Enregistrements montrant les principales formes d'onde rencontrées dans les EEG.
a) Delta — 0,5 à 3,5 cycles par seconde.
b) Thêta — 4 à 7 cycles par seconde.
c) Alpha — 8 à 13 cycles par seconde.
d) Bêta (fréquences plus élevées) — 14 à 30 c/s.

ans avant de prendre une radiographie, avec celui du médecin radiologiste, qui fait de longues études médicales avant d'assumer les responsabilités du diagnostic. Il est vrai que l'on ne court pas le même danger en se soumettant à l'un ou l'autre de ces deux procédés d'exploration; la prise d'un EEG est inoffensive; mais la fausse interprétation d'un tracé peut être pire qu'une brûlure. Ce fut surtout à titre d'auxiliaire indispensable dans cette situation que nous développâmes au Burden Neurological Institute un instrument capable de décoder automatiquement les tracés d'EEG, en révélant toutes les

Scanned by CamScanner

dix secondes clairement les fréquences et amplitudes, une sorte d'analyse d'ondes correspondant en gros à une analyse de Fourier.

Avec cet appareil, les diverses composantes électriques existant en même temps dans n'importe quelle région donnée du cerveau sont automatiquement captées et étalées séparément sur le papier d'enregistrement, comme un prisme sépare et projette les couleurs composant la lumière blanche. Il facilite grandement l'interprétation et constitue en outre un puissant instrument de recherche. Par exemple, son emploi nous permit, en 1943, d'identifier encore une autre composante rythmique à laquelle nous donnâmes le nom de *rythme théta*; il y aura beaucoup de choses à en dire quand nous nous approcherons de ce sommet lointain qu'est la personnalité.

4. L'actuel et quatrième stade de développement des recherches commença quand la fin de la guerre permit de nouveau de s'occuper des recherches de base. La suite de ce livre s'occupera des explorations et aventures de cette période.

L'équipement utilisé aujourd'hui pour étudier l'activité du cerveau comprend de nombreux dispositifs et appareils électroniques qui furent développés pendant la guerre pour les appareils radar. Un appareil d'EEG possède généralement plus d'une centaine de lampes, résistances, condensateurs, etc., ainsi que de nombreuses rangées de boutons de réglage, de manipulation et d'interrupteurs. Son aspect formidable et compliqué incite souvent des non-initiés à demander si un tel étalage d'ingéniosité est réellement nécessaire. Mais si nous considérons la complexité de l'objet pour l'examen duquel il est étudié et construit, l'équipement d'EEG le plus perfectionné paraît, en comparaison, simple de conception et extrêmement grossier et lourd de construction.

Son principe de base, du moins, est assez simple. Des électrodes — ce qui ne signifie rien de plus que ne l'indique l'étymologie du mot, c.-à-d. des chemins permettant à l'électricité de passer — sont fermement maintenues contre le cuir chevelu où elles collectent les très faibles voltages provoqués par les fluctuations électriques survenant dans le cerveau. Celles-ci peuvent provenir de toutes les parties du cerveau, mais les rythmes venant des régions les plus proches d'une paire d'électrodes donnée se manifestent d'une façon plus marquée dans l'amplificateur relié à la dite paire d'électrodes.

Il est possible de reconnaître des décharges significatives aussi petites que cinq microvolts, c.-à-d. cinq millionièmes de volt; la moyenne est plus élevée que cela, mais tout ce qui dépasse cinquante microvolts est inhabituel, excepté chez les enfants. L'analyseur automatique permet de reconnaître des voltages encore plus faibles (voir fig. 8). Une activité rythmique continue d'une amplitude de seulement 1/10 de microvolt peut être clairement distinguée de l'arrière-plan de bruits de fond. Pour bien faire sentir la petitesse

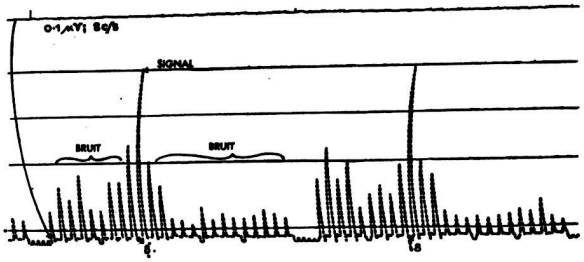

Fig. 8. *« ... il est possible de reconnaître des voltages encore plus faibles. »* La ligne du haut est l'enregistrement d'un signal de un dix millionième de volt, indiscernable du « lugubre sifflement universel » qui constitue le bruit de fond; mais l'analyseur décèle ce signal et étale sa fréquence bien au-dessus du niveau du bruit.

d'un aussi faible courant, on peut calculer combien il faudrait additionner de ces voltages pour allumer une simple lampe de poche électrique : trente millions y parviendraient peut-être. L'amplification utilisée pour l'enregistrement et d'autres observations est habituellement de l'ordre de grandeur de quatre millions de fois.

La fréquence d'un rythme, c.-à-d. le nombre de fois par seconde qu'un cycle complet de son pattern est répété, est plus significative que son amplitude ou voltage. Le rythme delta, mentionné ci-dessus, a une fréquence de 0,5 à 3,5 cycles par seconde; le rythme théta, de 4 à 7 c/s; et les rythmes alpha, les plus apparents de tous en surface et en amplitude, chez les adultes normaux, ont une fréquence de 8-15 c/s (voir fig. 7).

Toute découverte est susceptible d'être négligée ou de donner naissance à d'étranges théories pour expliquer de nouveaux phénomènes, quelle que soit la branche de la science que cela puisse concerner. En physiologie, les découvertes sont particulièrement vulnérables. Cela ne provient pas de ce que les physiologistes sont plus sceptiques ou plus crédules que d'autres hommes de science, mais de ce que leur science est différente. Jusqu'il y a peu de temps, chaque fois que le fonctionnement d'un nerf ou d'un organe quelconque avait été démontré par quelques expériences, on supposait qu'il en serait de même chez tous les autres individus. Ainsi, après avoir été négligée pendant des années, la découverte de Berger devint le sujet de théories basées sur des vérifications inadéquates. D'après les standards classiques, les deux ou trois cas examinés auraient dû être suffisants pour que l'on se prononçât sur une théorie. Aujourd'hui, nous savons que les

Scanned by CamScanner

variations entre individus sont si grandes, qu'il faut disposer de deux ou trois mille échantillons avant de pouvoir utilement incorporer dans une hypothèse la moindre parcelle d'information nouvelle sur le cerveau et qu'il faut en examiner et en comparer plusieurs milliers de plus avant d'oser avancer une théorie générale. C'est pourquoi le travail de notation constitue un problème en soi. L'adoption d'un système de notation statistique de routine requiert l'introduction d'un fichier compliqué de cartes perforées, dans lequel chaque carte peut contenir jusqu'à deux cents détails classifiés d'information à propos de chaque cas; toutes les cartes contenant un détail ou toute combinaison de ceux-ci peuvent être assemblées automatiquement. Ainsi, les fonctions de mémoire et d'association du laboratoire commencent à ressembler grossièrement à celles du cerveau lui-même.

Ensuite, après la guerre, la recherche reprit sur la base d'un fond de connaissances qui s'était constitué d'une façon moins fruste que celui né sur le champ de bataille d'une guerre précédente, mais qui fut cependant la conséquence des événements militaires plutôt que le résultat d'un effort scientifique préparé d'avance. Les informations durent être soigneusement passées au crible et l'instrumentation technique subir un grand perfectionnement. Il fallut aussi un développement correspondant de la méthode statistique; car, comme tout autre système de grossissement, l'amplification des faibles voltages par la lampe thermionique a ses limites. De même que le pouvoir de résolution du microscope finit au point où les mouvements browniens et la longueur d'onde de la lumière introduisent leurs types respectifs d'incertitude, ainsi les amplificateurs du physiologiste produisent le bruit sourd de ce que Milton appelait « un lugubre sifflement universel ». Contourner cette difficulté ne peut aboutir à plus qu'à un succès partiel. C'est pourquoi, à un certain moment, le physiologiste doit combler par des images, s'il est de la taille d'un Sherrington, ou par divination, les lacunes qu'il ne peut pas franchir, espérant naturellement qu'une hypothèse hardie pourrait éventuellement lui suggérer une expérience cruciale qui ne serait pas au-delà de ses ressources.

C'est dans cet heureux état spéculatif que l'on suggéra la possibilité d'en savoir davantage sur les rythmes du cerveau, en lui imposant, par l'intermédiaire des sens, d'autres activités. Seul un très petit nombre de facteurs affectant les rythmes spontanés étaient susceptibles d'être

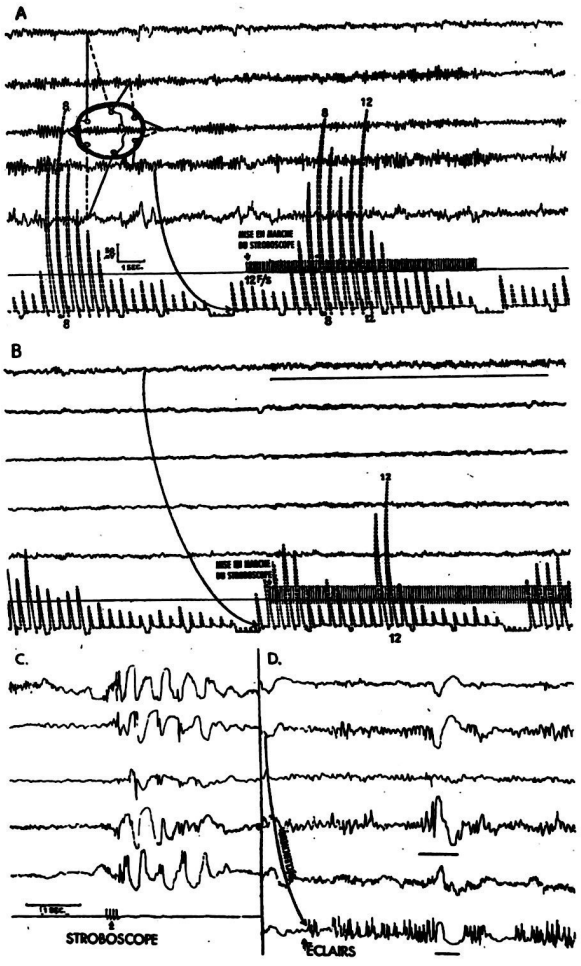

Fig. 9. « ... *des patterns étranges, nouveaux et significatifs, apparurent...* »

a) Le rythme de repos est à 8 c/s et le stroboscope déclenche un autre rythme de 12 c/s.

b) Le stroboscope modifie les rythmes dans toutes les parties du cerveau.

c) Quatre éclairs du stroboscope seulement furent nécessaires pour déclencher un type d'onde de crise chez cet épileptique.

d) Un réglage soigneux du déclencheur automatique provoqua une réaction semblable chez un sujet normal.

Scanned by CamScanner

observés ou contrôlés par l'expérimentateur ou le su... on n'enregistrait que les effets de l'ouverture et de la fermeture des yeux, de l'action de résoudre un calcul mental, de la surventilation respiratoire et de modifications du taux du sucre sanguin. Il fut parfois possible d'étudier l'influence de la somnolence et de drogues. Mais l'étendue et la variété des méthodes n'étaient pas comparables à la portée et la sensibilité de l'organe étudié, et l'information obtenue par leur intermédiaire était fragmentaire à l'extrême. Les problèmes cliniques furent les seuls à avoir obtenu des réponses non équivoques; mais les variations plus subtiles et très passagères se produisant à l'état normal dans le cerveau échappèrent à l'observation ou durent être écartées parce que leur importance n'aurait pu être justement estimée que si l'on avait pu disposer d'une évaluation détaillée continue de l'état général du sujet.

En 1946, nous avons trouvé que l'information contenue dans les enregistrements EEG pouvait être grandement augmentée en soumettant le cerveau à une stimulation rythmique, particulièrement au moyen d'un puissant éclairage intermittent des yeux, ouverts ou fermés. Les premières expériences de ce genre avaient été faites en envoyant la lumière à travers une roue percée de larges fentes radiaires et animées d'un mouvement de rotation, mais les résultats avaient été contradictoires. L'une des difficultés était la suivante : quand on augmentait la fréquence de l'éclairage intermittent en faisant tourner la roue plus rapidement, la durée de chaque éclair se raccourcissait. De plus, pour obtenir un éclair suffisamment puissant, il fallait utiliser des lumières très fortes qui tendaient à brûler la rétine. A la fin de la guerre, on obtint facilement une intermittence précise en employant un stroboscope électronique qui pouvait être calibré en fractions de cycle par seconde et dont la durée de l'éclair, très court et brillant, ne variait pas avec la fréquence.

Comme on s'y attendait, on trouva que chaque éclair de lumière provoquait dans le cerveau une réponse électrique caractéristique. Les expériences sur la réponse du cortex aux stimulations lumineuses étaient devenues familières avant la guerre. Mais après, avec la nouvelle technique, d'étranges patterns, nouveaux et significatifs, surgirent du gribouillage léger des plumes dans toutes les dérivations de l'EEG (fig. 9).

La fréquence des éclairs pouvait être changée rapidement en tournant un bouton; il apparut qu'à certaines fréquences les séries rythmiques d'éclairs supprimaient certaines barrières physiologiques entre différentes régions du cerveau. Ceci signifiait que le stimulus intermittent reçu dans la zone de projection visuelle du cortex dépassait les limites de cette zone; ses ondes envahissaient d'autres régions. La modification des rythmes qui en était la conséquence pouvait être observée d'instant en instant dans les autres parties du cerveau, même

par un amateur, quand la plume à encre rouge de l'analyseur automatique dessinait par petits coups les nouveaux patterns provoqués par les fréquences changeantes du stroboscope, inscrivant leur effet dans une dérivation après l'autre.

Le stroboscope s'avéra être une clé ouvrant de nombreuses portes. Nous l'utilisâmes d'abord en clinique pour nous seconder dans le diagnostic de l'épilepsie, mais dès le début ses révélations furent fondamentales aussi bien en clinique qu'au laboratoire. L'observation de plusieurs milliers de tracés de repos, faits sur des malades épileptiques pendant une phase tranquille entre deux crises, avait montré que leurs rythmes cérébraux tendaient à se grouper par bandes de fréquence. C'était comme si certains accords principaux apparaissaient constamment au milieu de trilles et d'arpèges de l'activité normale. Ce groupement harmonieux suggérait que si un chef impérieux était introduit, le cerveau pouvait être synchronisé en un grand *tutti* pour produire sous conditions contrôlées les potentiels majestueux de la crise convulsive.

C'est ainsi que le stroboscope, introduit comme auxiliaire de l'interprétation diagnostique, nous introduisit sur de nouvelles voies de recherches. La découverte qu'en fait, des fréquences appropriées du stroboscope provoquaient des crises chez des sujets prédisposés confirma l'importance de la recherche par cette méthode. Les nouveaux renseignements obtenus par ce moyen sur l'épilepsie ont profondément modifié les notions courantes concernant cette maladie.

L'épilepsie a toujours été regardée avec des sentiments qui ont varié de la crainte religieuse à la défiance professionnelle et à l'horreur laïque — avec aussi peu de raisons dans un cas que dans l'autre. Le spécialiste était incapable de l'expliquer ou même d'en donner une définition adéquate. Non pas que les assertions aient manqué à ce sujet dans la littérature. Elles peuvent être divisées en deux groupes : les classiques — « l'épilepsie est la tendance aux crises épileptiques périodiques » — et les romantiques — « l'épilepsie est une dysrythmie cérébrale paroxystique ». Les affirmations de la première classe peuvent être qualifiées de tautologie, tandis que celles de la seconde classe soulèvent l'objection facile que dans certains cas la maladie n'est ni paroxystique, ni cérébrale, ni même une dysrythmie. Les recherches cliniques de Penfield et Jasper au Canada, et de Gastaut en France, commencent à définir plus clairement les problèmes médicaux soulevés par les études expérimentales.

Les nouvelles informations concernant l'épilepsie tendent plutôt à excuser l'absence de définition ou d'explication de la maladie dans le passé, non parce qu'elles ajoutent quelque obscurité supplémentaire, mais parce qu'elles soulèvent la question de savoir si nous ne devrions peut-être pas la considérer comme un atavisme fonctionnel plutôt que comme une dégénérescence. De nombreuses misères, considérées

Scanned by CamScanner

et traitées comme des maladies, ont peut-être des fonctions d'ordre physiologique. On constate souvent que la dermatite, inflammation des terminaisons nerveuses de la peau, possède une action régénératrice, et pourrait fort bien avoir son origine en quelque réaction des mécanismes de défense de l'organisme. Un malheur apparent peut être le moyen de nous préserver d'une catastrophe. Il existe encore une autre justification spécifique, à discuter en ce sens, de la nature de l'épilepsie : la similitude d'une crise naturelle et d'une crise provoquée par un traitement au choc électrique est très suggestive. La nature présente de nombreuses analogies. Les décharges électriques de son réseau nerveux accompagnant les mouvements d'une méduse, décrites dans un chapitre précédent, sont très semblables à celles qui se produisent dans le cerveau humain au cours de la phase convulsive d'une grande crise. C'est pourquoi nous pourrions être en présence d'un écho vestigial de cette première et très ancienne préfiguration d'une tempête cérébrale. D'autre part, quand nous disposerons d'assez de données pour une telle estimation, nous pourrons obtenir une réponse statistique indiquant jusqu'à quel point les crises épileptiques peuvent être une nécessité pour tel ou tel degré de complexité de combinaisons entre la myriade de millions d'unités de notre réseau nerveux olympien, considérant que partout où deux ou trois cellules nerveuses sont rassemblées une crise peut se produire.

Les observations de l'effet du stroboscope sur des gens normaux n'ayant jamais eu aucune sorte de crises ou d'accès soutiennent l'idée que les crises épileptiques ne sont pas la propriété exclusive du cerveau cliniquement épileptique. Afin de comparer les réponses d'individus cliniquement épileptiques avec celles d'individus normaux, nous avons examiné plusieurs centaines de sujets de « contrôle » — écoliers, étudiants, des groupes variés d'adultes. Chez 3 ou 4 % de ceux-ci, le stroboscope, soigneusement réglé, provoqua des réponses qu'il était impossible de distinguer de celles que l'on avait auparavant considérées comme signant le diagnostic d'épilepsie clinique. Lorsque ces réactions apparaissaient, les sujets se plaignaient de « sensations étranges », de faiblesse et d'étourdissements dans la tête; quelques-uns s'arrêtaient de répondre ou étaient inconscients pendant quelques instants; chez certains les membres étaient secoués rythmiquement avec les éclairs de lumière. Le stroboscope était naturellement coupé dès que ces sensations désagréables étaient rapportées; le recrutement de volontaires n'est pas encouragé par des histoires de convulsions qui pourraient aussi, très injustement, entamer le bon renom d'expérience inoffensive de l'électroencéphalographie.

Le nombre de sujets normaux qui donne régulièrement et d'une façon répétée ces réponses épileptiques représente une faible proportion de la population globale, mais il est suffisamment grand pour indiquer que des « phénomènes épileptiques » peuvent être provoqués chez des

individus normaux au moyen d'une stimulation physiologique d'un certain genre. Ce phénomène pourrait être considéré comme une simple curiosité de laboratoire si les conditions indispensables à son déclenchement ne se produisaient occasionnellement, par accident, dans la vie de chaque jour.

Depuis que ces observations ont été rapportées pour la première fois, nous avons reçu plusieurs communications de personnes normales ayant fait des expériences comparables. Par exemple, un correspondant d'Amsterdam écrit : « J'étais encore dans l'armée; mon chauffeur et moi nous roulions un jour vers notre lieu de stationnement, le long d'une allée d'arbres éclairée par la clarté d'un jour très lumineux. Comme j'étais très fatigué, je me laissai aller sur mon siège et fermai les yeux. La lumière du soleil qui passait entre les arbres faisait des jeux de lumière sur mon visage quand soudain j'eus conscience d'avoir fait des mouvements violents et je m'éveillai, tenant fermement d'une main le pare-brise, ce qui m'avait empêché de tomber hors de la jeep. J'étais très intrigué et la fois suivante que nous roulions le long de cette allée, je tentai l'expérience à nouveau, mais cette fois j'y étais préparé. J'avais fermé les yeux depuis un bref instant lorsque je sentis que, si je continuais, je perdrais tout contrôle de moi-même. Toutefois, en regardant droit devant moi, je n'eus pas de trouble, sauf une sensation bizarre et le besoin, me semblait-il, d'éviter la lumière intermittente filtrant à travers les arbres en mettant mes mains devant les yeux. »

Dans un autre cas, un homme découvrit que, quand il allait au cinéma, il avait soudainement la sensation d'être irrésistiblement poussé à étrangler la personne assise à côté de lui. En fait, il n'étrangla jamais personne, mais il revenait à lui alors que ses mains entouraient la gorge du voisin. Cette impulsion ne dépendait pas du sujet du film, mais elle surgissait le plus souvent quand le patient mouvait sa tête soudainement pendant que le film se déroulait. Soumis à la lumière artificiellement intermittente du stroboscope, il réagissait par de violents mouvements des membres quand la fréquence des éclairs était élevée — jusqu'à 50 par seconde — c.-à-d. environ la même fréquence d'éclairs que celle du projecteur cinématographique. Il pouvait empêcher les mouvements saccadés en contractant volontairement les bras. Un autre sujet avait à plusieurs reprises perdu conscience un instant alors qu'il roulait à bicyclette le long d'une avenue d'arbres, certains beaux soirs. Dans son cas, la perte de contrôle provoquée par les intermittences de lumière avait interrompu l'action de pédaler, ce qui avait ralenti sa vitesse et diminué la fréquence de l'intermittence, arrêtant ainsi le mode de stimulation efficace.

Chez plusieurs sujets, le degré de synchronisation entre l'intermitteur et les rythmes cérébraux doit être extrêmement précis pour être efficace. Une erreur de 10 % peut déjà être trop élevée. Une telle

Scanned by CamScanner

précision est difficile à maintenir à la main, d'autant plus que la stimulation elle-même modifie la fréquence de l'activité avec laquelle elle doit être synchronisée. Afin de maintenir le stroboscope et le cerveau en mesure, on adopta un système de contrôle automatique à rétroaction (feedback). Ce système consiste en un circuit à détente, dans lequel l'éclair est déclenché par les rythmes cérébraux eux-mêmes avec n'importe quelle relation de temps choisie avec n'importe quelle composante rythmique d'activité spontanée ou provoquée. Le choix du signal de détente peut être fait sur une base d'amplitude ou de localisation aussi bien que de fréquence, et le délai entre signal et éclair peut être fixé entre une seconde et quelques millièmes de seconde. Il est ainsi possible d'explorer au choix toute la gamme de relations entre une grande variété de stimuli intermittents et n'importe quel rythme cérébral spontané.

Avec cet instrument, les effets du stroboscope sont même plus énergiques que lorsque la vitesse de stimulus est fixée par l'opérateur. L'observation la plus significative est que, chez plus de 50 % des jeunes adultes normaux, la première exposition au stroboscope à feedback provoque des décharges paroxystiques transitoires du même type que celui si souvent observé chez les épileptiques. Cette première réponse s'évanouit si l'expérience est poursuivie, excepté chez le 3 ou 4 % déjà mentionné, ce qui suggère qu'elle est peut-être en rapport avec une variation spécifique dans le mécanisme de l'apprentissage qui sera décrit plus tard.

De peur que l'on pense que l'éclairage intermittent, par exemple par des lampes fluorescentes, présente de sérieux risques, il peut être rassurant de répéter que seul un faible pourcentage de gens normaux répond de cette façon et que, à l'exception d'un très petit nombre d'entre eux, ils ne réagissent qu'à de courts éclairs très lumineux se répétant 10-20 fois par seconde. La fréquence efficace des éclairs des installations fluorescentes est de 100-120 par seconde et la lumière scintillante ne représente qu'une petite proportion de la lumière totale. Il est assez bizarre que ce ne soit pas en ville, mais dans la jungle, où la lumière du soleil scintille à travers les arbres de la forêt, que nous courons le plus grand risque de crises par stimulation intermittente. Dans cet ordre d'idée, peut-être que nos cousins arboricoles, avec leur cerveau en lente croissance et leurs tendances accrues à des accidents de ce genre, ont été frappés par le soleil couchant au milieu d'un bond dans la jungle, et sont tombés de leur perchoir sur le sol, singes devenus plus tristes mais plus sages.

Nous devons maintenant quitter ce sujet. Le lecteur qui désire en savoir davantage sur la technique de l'EEG et la stimulation artificielle en tant qu'auxiliaire de l'étude de l'épilepsie trouvera un rapport détaillé dans *Electroencephalography*, publié en 1950, un symposium de 438 pages sur divers aspects de ce sujet.

Dans les sciences biologiques, c'est un bon principe que d'être son propre cobaye, d'expérimenter sur soi-même; en électroencéphalographie, cette pratique est largement répandue, adéquate et inoffensive. Chaque fois qu'un nouvel instrument doit être essayé ou étalonné, des sujets normaux faisant partie de l'équipe du laboratoire sont utilisés comme « générateurs de signaux ». Leurs rythmes cérébraux varient très peu d'un mois à l'autre et le nouvel appareil peut être contrôlé dans les conditions opérationnelles dans lesquelles on peut prévoir qu'il aura à fonctionner. Quand nous avons commencé à utiliser les stroboscopes électroniques à grande puissance pour engendrer l'intermittence, dans le but d'éprouver l'hypothèse de la synchronisation par résonance dans l'épilepsie, nous avons pris un grand nombre de tracés les uns des autres en regardant la brillante source lumineuse. Nous désirions nous assurer qu'il n'y avait ni désagréments ni dangers et que l'énorme courant électrique produisant les éclairs n'influençait pas nos instruments d'enregistrement. Ces essais furent tout à fait satisfaisants et nous donnèrent en fait beaucoup de renseignements qui seront discutés ultérieurement; mais, de plus, nous avons tous observé un effet particulier. Il doit avoir été observé auparavant, mais avec l'ancienne méthode par disques tournants pour créer des intermittences, son origine ne semblait pas si énigmatique. Cet effet consistait en une illusion frappante de formes mouvantes apparaissant chaque fois qu'on fermait les yeux, permettant au stroboscope d'éclairer à travers les paupières. L'illusion est la plus intense et prend des formes diverses quand l'intermittence est réglée entre 8 et 25 éclairs par seconde. Il s'agit généralement d'une sorte d'échiquier ou de mosaïque pulsatiles, souvent de couleurs éclatantes. A certaines fréquences — autour de dix par seconde — des sujets voient des spirales tournoyantes, des tourbillons, des explosions, des soleils.

Margiad Evans donne une vivante description de ses sensations dans *A Ray of Darkness* : « J'étais couchée là, tenant la verte main sans pouce de la feuille, tandis que les choses cliquetaient et que l'appareil se mettait en mouvement; les commandements de respirer profondément, d'ouvrir et de fermer les yeux m'atteignaient depuis l'autre côté de la salle invisible, comme par T.S.F. Des lumières comme des comètes s'agitaient devant moi, lentement d'abord et ensuite de plus en plus vite jusqu'à la furie, changeant constamment, tournoyant d'une couleur à l'autre, d'un angle à l'autre. Toutes ces couleurs étaient purement supraterrestres, c'étaient des couleurs « mentales » et non pas des couleurs « visuelles ». Il n'y avait pas d'éclat en elles, mais seulement de l'activité et de la révolution. »

Avec un stroboscope à roue tournante, on aurait pu arguer que ces impressions étaient dues au mouvement rapide de l'ombre près des yeux. Au premier abord nous pensâmes qu'une explication similaire pouvait aussi se justifier avec le stroboscope électronique. La décharge

Scanned by CamScanner

a lieu dans un petit tube en spirale et il semblait possible que la région lumineuse puisse descendre en tournoyant le long de cette spirale et ainsi produire cette illusion. Mais la totalité de l'éclair brillant ne dure qu'environ vingt millionièmes de seconde et à vrai dire les illusions sont d'autant plus vives que la lumière est plus diffuse. Nous fûmes ainsi forcés de conclure que ce que nous étions en train de voir naissait, non pas dans la lumière, mais dans l'œil ou le cerveau.

Nous avons ensuite supposé que nos visions provenaient de quelque particularité de la rétine, où des millions de cellules nerveuses, disposées dans des assises feutrées, transforment l'énergie rayonnante de la lumière en modifications électrochimiques qui stimulent les fibres du nerf optique. Toutes sortes de déformations et d'aberrations pourraient se produire dans cet avant-poste du cerveau. Mais l'étude des pulsations électriques naissant dans la rétine elle-même — l'électrorétinogramme — ne montrait pas d'effets anormaux. De plus, nous prîmes conscience d'une autre bizarrerie de ces illusions d'origine stroboscopique : elles étaient modifiées par l'état mental du sujet.

Ces observations nous poussèrent à examiner avec plus de précision les illusions subjectives décrites par un grand nombre de sujets normaux et à analyser en détail les réactions électriques du cerveau avec lesquelles elles étaient associées. La sensation de mouvement et de pattern, là où tout était tranquille et dépourvu de détails, était surprenante et contradictoire. Cela suggérait qu'en essayant un appareil destiné à étudier l'épilepsie, nous étions par hasard tombés sur l'un de ces paradoxes naturels qui sont l'indice le plus sûr d'une vérité cachée.

Les résultats obtenus au cours de ces études sont trop abondants pour être détaillés — et ils sont même augmentés chaque jour, grâce aux expériences faites dans de nombreux laboratoires; mais nous pouvons signaler ici deux points concernant les tracés de réponses provoquées, pris au cours de ces moments d'illusion. 1. Quand la sensation illusoire est primairement visuelle, la modification électrique siège dans la zone de projection visuelle et dans les zones d'association visuelle du cortex. 2. Quand la sensation illusoire est reliée à un système sensoriel non visuel, la réponse siège dans la zone de projection corticale de ce système, la réponse de la zone visuelle étant diminuée dans ces conditions. Ces expériences prouvent ainsi, sur une grande échelle et sous un contrôle précis, ce qu'on avait déjà décrit comme étant la dissolution de certaines limites physiologiques entre différentes régions du cerveau, une pénétration de la réponse visuelle dans d'autres systèmes sensoriels. C'est là quelque chose de plus que le « croisement de lignes » accidentel qui provoque la confusion entre les sens du goût et de l'odorat.

Ces deux observations nous convainquirent que les illusions, que nous avions d'abord observées sur nous-mêmes et qui nous étaient maintenant confirmées avec une telle variété par nos sujets expérimentaux, étaient dues à quelque particularité du fonctionnement cérébral. En outre, il semblait fort possible que plusieurs régions du cerveau fussent impliquées dans cette duperie. La zone de projection visuelle par elle-même est trop spécialisée et dépourvue d'originalité pour créer des apparitions aussi pittoresques.

Depuis longtemps déjà, nous en savions assez sur ce qui se passe dans le cerveau à ce stade-là, mais nous n'en connaissions pas le « comment ». Nous savions que le résultat de ces processus finaux n'est pas seulement le fait de voir, ce que nous pouvons faire tout à fait inconsciemment, mais le fait de penser à ce que nous voyons. Nous pouvons simplement jouir de la vue ou être remués par quelque émotion moins plaisante; ou bien ce que nous voyons peut nous rappeler d'autres images, des personnages, des idées; cela peut provoquer par association d'images ou de mots toute une chaîne d'idées spécifiques conduisant à une action, ou nous laisser satisfaits ou dans l'expectative. En tout cas, aucun de ces résultats ne peut être obtenu par la simple réception des images dans la zone de projection seulement. D'une façon ou d'une autre, cette image est communiquée aux autres zones du cerveau, dans lesquelles il y a prise de connaissance — de conscience — de perceptions sensorielles; ou bien ces perceptions sont reconnues et associées à d'autres souvenirs d'impressions sensorielles et à toutes les pensées, sentiments et idées qui s'y rattachent. Nous pourrions même deviner que, afin d'accomplir ces processus finaux si compliqués, le cerveau doit être en mesure de communiquer chaque détail de l'information reçue dans n'importe laquelle de ses régions à toutes les autres régions. En fait, le directeur ne va pas dans la salle de projection; il a trop d'autres choses à diriger, sans compter les autres sens, les mémoires et toutes ses propres réflexions; il possède plutôt quelque arrangement, au moyen duquel il reste informé de tout ce qui pourrait l'intéresser au cours de ses heures de veille.

Ces faits étaient déjà établis quand nos connaissances actuelles des processus décrits étaient limitées aux zones visuelles du cortex, dont l'existence pouvait être démontrée, et aux observations cliniques montrant que lorsqu'il y avait interférence physique entre ces zones et les zones dites muettes, les choses étaient vues, mais pas reconnues. La conclusion déduite de ces observations était tout à fait légitime. C'était un exemple de recherches par la méthode de la Boîte noire des ingénieurs des communications : sans jamais regarder à l'intérieur de la boîte, on peut apprendre beaucoup de choses sur ce qui s'y passe en comparant les signaux pénétrant dans la boîte avec ceux qui en sortent. Cette méthode d'enquête sera indispensable à l'étude de quelques-uns de nos problèmes. On ne peut pas dire que le contenu de la Boîte noire ait été complètement élucidé; mais la stimulation stroboscopique fournit un moyen plus direct pour pénétrer plus avant dans les processus de la vision.

Scanned by CamScanner

Le rythme alpha — plus justement les rythmes, puisque l'analyse a montré qu'il est presque toujours composé — a dès les tout premiers jours attiré l'attention par deux caractères spéciaux. Son association avec des différences de personnalité ne fut pas reconnue de prime abord, mais Berger fut le premier à pouvoir montrer que ce rythme est modifié par l'ouverture et la fermeture des yeux, ainsi que par l'effort de concentration sur un problème mental. Dans cet ordre d'idée, il est intéressant de remarquer que le mécanisme d'ouverture des yeux est intimement lié dans le cerveau à celui qui maintient l'attention et la conscience. Il y a toutefois de nombreux faits curieux dans cette relation; car bien que l'acte de fermer les yeux soit un des actes préliminaires essentiels du sommeil et qu'il soit même capable de le provoquer alors que le reste de l'organisme ne le requiert pas particulièrement, de nombreuses personnes sont à même de penser mieux — ou du moins plus activement — quand leurs yeux sont fermés; en outre, les images visuelles sont en général plus vives quand les stimuli réels ne leur font pas concurrence. C'est pourquoi les tests pratiqués avec les yeux clos sont utiles. Comme les paupières ne sont en aucune façon opaques, le fait de fermer les yeux dans une lumière éclatante sert principalement à éliminer le détail de la vision; le brillant et les couleurs sont évidemment modifiés, mais l'intensité du stimulus intermittent peut néanmoins atteindre son maximum avec les yeux clos, si l'on utilise un équipement moderne.

Le groupement des sujets d'après l'activité de leurs rythmes alpha dans différentes circonstances était déjà un petit début du travail; celui-ci nous obligeait inévitablement à étendre nos observations au-delà des limites habituelles de la physiologie pour pénétrer dans le domaine de la personnalité physique. La découverte du rythme thêta indiquait la même direction. L'adoption de la stimulation intermittente fut elle-même comme la projection d'un nouveau rayon de lumière sur ces manifestations de l'activité cérébrale. Sans le stroboscope, nous pouvions apprendre déjà beaucoup sur les réponses de l'EEG à des stimulations de divers genres. Mais l'effet de la stimulation lumineuse intermittente, enregistrée sur l'EEG, fut de provoquer dans le cerveau un pattern d'activité du même genre que celui des patterns spontanés d'activité cérébrale. On put aussi lui donner la même valeur rythmique. Cela veut dire qu'après avoir vérifié par analyse EEG la fréquence d'un pattern dominant chez le sujet, on pouvait régler le stroboscope pour qu'il produise une intermittence de fréquence identique. Cette fréquence « en miroir » n'est pas toujours celle à laquelle le stroboscope développe son effet le plus grand, mais avec le système à détente déjà décrit il est possible d'obtenir une synchronisation parfaite.

Puisque les méthodes de stimulation, par définition, sont destinées à avoir quelque effet sur les sujets, l'expérimentateur doit constater non seulement les modifications électriques dépendant directement

de la stimulation, mais aussi tous les facteurs émotionnels et autres qui peuvent l'affecter ou s'y associer. On demande au sujet de décrire toutes les sensations inhabituelles; un raccord placé sur sa gorge enregistre le moment auquel il fait ses remarques, si bien que l'effet décrit peut être rapporté à la fréquence du stroboscope au moment donné. La volonté du sujet peut également être mise en jeu; il peut, par exemple, consciemment et efficacement résister ou donner libre cours aux émotions ou hallucinations engendrées par le stroboscope; c'est là matière d'un grand intérêt social, qui apporte des éclaircissements sur la question de la discipline personnelle, dont nous parlerons plus tard.

Une très grande variété d'expériences mentales ont été décrites et elles ne sont certes pas toutes déplaisantes. Certains sujets ont vu de riches images aux mille couleurs, parfois stables et parfois mouvantes; l'un des premiers patterns que nous ayons vus nous-même, la spirale tournoyante, revient très souvent et cela peut avoir une signification mécanique particulière, comme nous le suggérons plus loin. Des sensations simples, autres que visuelles, sont aussi ressenties. Certains décrivent des sensations de balancement, de saut, même de tournoiement et de vertige. Certaines personnes ressentent un picotement et un fourmillement de la peau. Quelques sujets révèlent des patterns d'activité épileptique, comme déjà décrit. Les sensations auditives sont rares; mais il peut y avoir des hallucinations organisées, c.-à-d. des scènes complètes qui font intervenir plus d'un sens, comme dans les rêves. Toutes sortes d'émotions sont ressenties : fatigue, confusion, peur, dégoût, colère, plaisir. Parfois, le sens du temps est perdu ou troublé. Un sujet disait qu'il avait été « poussé de côté dans le temps » — hier était d'un côté au lieu d'être derrière, et demain était de l'autre côté au lieu d'être devant.

Si nous considérons maintenant ces hallucinations dans leur manifestation la plus simple, comment se fait-il que la répétition précise d'un éclair produisant sur la rétine un champ lumineux sans pattern soit perçue comme une image mouvante ? La lumière est stationnaire, les yeux sont clos et immobiles, la tête et le cerveau sont tranquilles. Pourtant, quelque chose doit se mouvoir pour donner naissance à des images mouvantes. Nous savons que les patterns ne sont pas produits à l'extérieur; ils ne peuvent pas atteindre la rétine à travers l'œil. Nous savons qu'ils ne se forment pas spontanément sur la rétine, qu'ils sont susceptibles de se modifier sous l'influence de l'état mental et de l'attitude du sujet; et aucun effet irrégulier ne peut être décelé dans les électrogrammes pris sur la rétine.

Les patterns d'image provoqués par la stimulation intermittente en corrélation avec les rythmes alpha prennent naissance dans le cerveau. Leur mouvement est le mouvement d'un mécanisme cérébral resté jusqu'ici insoupçonné. Quel est ce mécanisme ?

Scanned by CamScanner

Les rapports observés entre les facteurs peuvent être énoncés formellement de la façon suivante : Stimulation lumineuse intermittente (SLI) + x produit du Mouvement :

$$S + x \longrightarrow M$$

Parallèlement, considérons notre autre question restée sans réponse : comment le directeur reste-t-il constamment informé ? Comment l'image spatiale qui est reçue dans les zones de projection est-elle transférée vers les autres zones pour y être reconnue ? Ici également nous trouvons le mouvement de quelque mécanisme du cerveau au travail. Nous pouvons dire que alpha + x produit l'Image finale

$$A + x \longrightarrow I$$

Ce sont des équations simultanées dans lesquelles les facteurs connus, logiquement traités, concordent avec l'expérience, leurs facteurs inconnus, raisonnablement supposés être identiques, peuvent être éliminés en soustrayant la première équation de la seconde. Cela donne : A $\longrightarrow$ I — M + S. Cela veut dire que le rythme alpha produit une image sans mouvement mais intermittente. Quoi que ce soit qui *se combine* avec alpha et le stroboscope pour produire une image *en mouvement* se combinera avec alpha pour porter une image à son stade final, processus qu'une image hallucinatoire peut de toute évidence également suivre.

Présenté sous cette forme atténuée, et étant donné que le mécanisme requis doit être contenu dans le crâne humain, un ingénieur des communications sauterait sur la seule conclusion qui lui paraîtrait possible : un mécanisme d'exploration systématique (the scanning). L'exemple le plus familier d'un tel mécanisme est constitué par la télévision, où un pattern spatial est très économiquement converti, pour être transmis, en une suite d'impulsions par le mécanisme d'exploration de la caméra. Un homme de science doit éviter les conclusions hâtives; si c'est là ce que nous semblons faire dans ce cas, nous pouvons dire que nous avons émis cette supposition pour la première fois il y a plusieurs années et que le psychiatre américain Warren McCulloch aboutit à peu près au même moment, et tout à fait indépendamment, à la même hypothèse; de plus, ces messieurs les spécialistes ne nous ont pas démentis.

Il y a beaucoup à dire en faveur de cette hypothèse. Il est nécessaire de supposer un principe mécanique qui pourrait être agencé en un appareil suffisamment compact pour être porté dans la tête; or, aucun autre principe de ce genre n'est connu. De plus, les deux équations sont satisfaites avec x = mécanisme de scanning. Ce n'est pas dialectiquement que nous aboutîmes à cette hypothèse, mais à la suite d'une longue et minutieuse vérification du comportement des

rythmes alpha dans l'une et l'autre condition — c.-à-d. avec et sans stimulation intermittente.

Notons, par exemple, la coïncidence curieuse entre la fréquence des rythmes alpha et la durée de persistance de l'image visuelle. On la met en évidence en cherchant combien de mots peuvent être lus en dix secondes. On trouvera que ce nombre est d'environ cent, c.-à-d. de dix par seconde, fréquence moyenne des rythmes alpha. Le scanning explique aussi une illusion optique que l'on peut expérimenter. Si deux lampes sont disposées dans le même champ de vision et que l'on éteigne l'une juste avant d'allumer l'autre, il semble que la lumière se meut de la première vers la seconde lampe. L'illusion est mise sur le compte de l'intervalle d'exploration.

Significative aussi est la cessation des rythmes alpha chez la plupart des sujets quand les yeux sont ouverts et qu'un pattern est vu, ou quand ils sont poussés par suggestion à voir une image de genre visuel ou mental. Cela fait supposer que les rythmes alpha sont un processus explorateur-chercheur de pattern, processus qui se relâche quand un pattern est trouvé. C'est comme si vous étiez en train de chercher un mot particulier sur une page imprimée; vous explorez la page, ligne

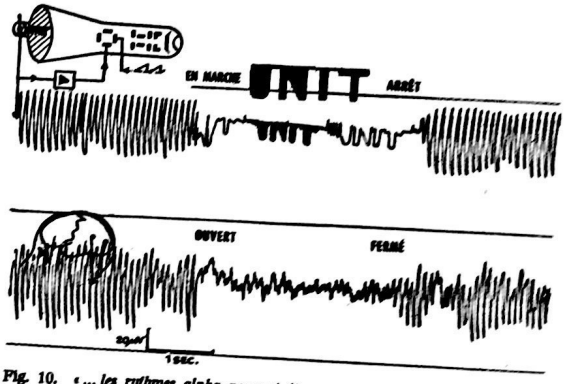

Fig. 10. « ... les rythmes alpha peuvent être un procédé de scanning... »
Un moyen d'exploration de profil. Quand un système de détection à rétro-action n'a rien à déceler, il tend à osciller. Quand il rencontre un pattern, ses mouvements reproduisent un fac-similé de ce pattern en fonction du temps. Dessous, les rythmes alpha d'un sujet normal suggèrent une similitude de mécanisme entre le modèle et le cerveau.

Scanned by CamScanner

par ligne, jusqu'à ce que vous tombiez sur le mot; alors le mouvement d'exploration cesse; quiconque surveillerait vos yeux pourrait dire à quel moment exact vous avez trouvé ce que vous cherchiez.

La manière selon laquelle un tel système pourrait fonctionner dans le cerveau est illustrée par un appareil que nous avions développé dans un tout autre but, pour reconvertir des tracés linéaires, par exemple les EEG, en modifications électriques (voir fig. 10). Un oscilloscope à rayons cathodiques, une cellule photo-électrique et un amplificateur sont arrangés en un système à feedback de façon que la cellule photo-électrique « regarde » le point lumineux apparaissant sur l'écran de l'oscilloscope; le voltage qui en résulte est amplifié et appliqué sur les plaques en Y de l'oscilloscope, déviant ainsi le point lumineux. La déviation diminue l'éclat apparent du point lumineux, ce qui modifie le voltage et tend à faire errer le point lumineux près du bord de l'écran. Si un objet opaque est placé au-dessus de la partie de l'écran vers laquelle le point lumineux tend à se mouvoir, celui-ci ne parvient pas jusque derrière l'objet opaque, puisque sa propre disparition abolit la force qui le fait dévier. Si l'on applique un voltage d'exploration linéaire, le point lumineux glissera le long du profil de toute courbe placée sur l'écran. Si toutefois, dans certaines conditions, il n'y a pas de dessin à scruter, le système tend à osciller d'une façon analogue aux rythmes alpha. L'écran de l'oscilloscope peut représenter la zone de projection du cortex visuel, qui peut être ou vide ou occupée par la projection d'un schéma électronerveux du champ visuel. Le rayon électronique et son point lumineux représentent l'activité électrique fluctuante engendrée par une zone d'association contiguë par l'intermédiaire de l'excitation de chaînes de neurones conduisant à la zone de projection. La cellule photo-électrique représente l'autre extrémité de la chaîne de neurones qui reçoit les stimuli revenant de la zone de projection et achève le circuit de rétro-action.

On peut suivre sur le tracé EEG la façon dont le pattern des rythmes alpha est modifié ou supprimé par des patterns mentaux ou visuels imposés. La même observation est encore plus impressionnante si elle est faite sur le toposcope, où l'on peut voir le pattern dominant prendre possession des zones visuelles de projection et d'association (fig. 5). Quand on utilise le stroboscope, l'image mouvante déployée par le toposcope devient presque celle d'un esprit possédé dans un tout autre sens. La correspondance entre l'extension et la complexité des réponses suscitées d'une part, et les hallucinations du sujet d'autre part, est frappante. Plus les sensations du sujet sont vives et bizarres, plus les réponses provoquées sont éloignées des zones visuelles et plus leurs formes et leur géométrie sont particulières. Dans ces conditions, le comportement des rythmes spontanés et artificiels est strictement en accord avec les effets à attendre d'un mécanisme explorateur. L'interférence du stroboscope avec un processus normal d'exploration

pourrait être démontrée sur un écran de télévision par l'illumination du studio de télévision au moyen d'une lumière alternante. Son effet sur l'image serait très déplaisant et même pénible à regarder; des taches de lumière sillonneraient l'écran d'une manière vertigineuse. Nos tracés et nos observations toposcopiques permettent de constater une confusion semblable dans le cerveau quand le conflit entre les deux patterns de temps, les rythmes d'explorations appartenant au cerveau et le rythme du stroboscope, produit une tempête cérébrale aussi sauvage que n'importe quelle distorsion sur l'écran de télévision.

Une théorie générale de ce genre à propos d'un organe aussi complexe et variable que le cerveau ne peut pas être vérifiée ou établie par une expérience unique, comme le permettraient les principes de la physiologie classique. Ce sera l'affaire d'une expérimentation poursuivie jour après jour dans de nombreux laboratoires de nous apprendre si cette hypothèse peut être maintenue, au fur et à mesure que de nouveaux phénomènes viendront la corroborer. Il se pourrait cependant que l'on n'ait pas à attendre longtemps; les nouvelles informations obtenues par de nouvelles techniques et de nouveaux appareils sont abondantes et pleines de suggestions intrigantes. Par exemple, la spirale tournoyante que de si nombreuses personnes voient sous l'effet de la stimulation stroboscopique ne nous montrerait-elle pas la voie même que suit le point explorateur dans le pattern qu'il crée tous les dixièmes de seconde ?

Il serait tentant de développer ici une théorie complète de l'exploration en tant que stade final de tous les processus sensoriels; car elle semble servir aussi bien à expliquer la prise de conscience d'autres sensations que les visuelles. Nous verrons plus tard, par exemple, que cette théorie s'adapte bien à l'interprétation des rythmes théta en tant qu'exploration de plaisir, supposition bien étayée par les expériences psychologiques accompagnant son évocation. Mais maintenant, quelques « amis mécaniques » nous attendent au prochain chapitre; ils nous expliqueront de leur façon simple quelques-uns des phénomènes déjà discutés, ou, comme les inventions du Chevalier Blanc, nous divertiront jusqu'à ce que nous atteignions la huitième Case de la pensée et de la personnalité.

Scanned by CamScanner