

SCIENCES ^{et}

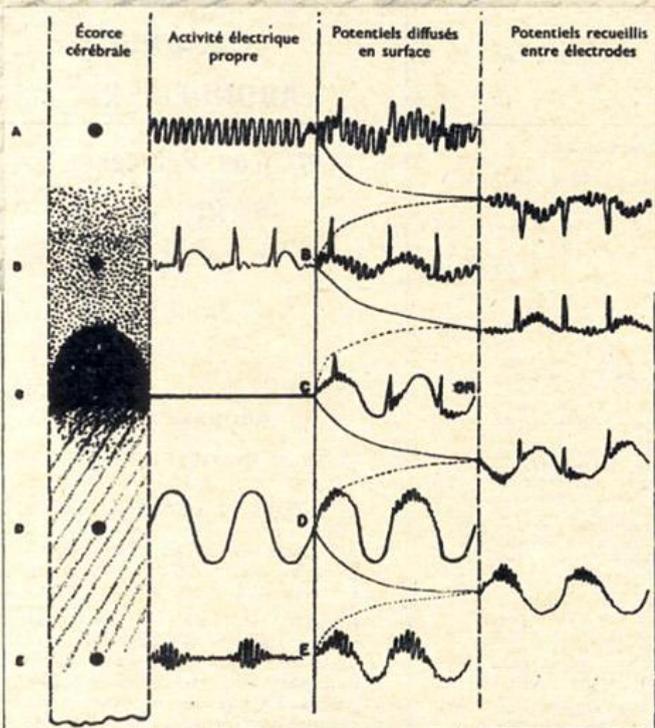
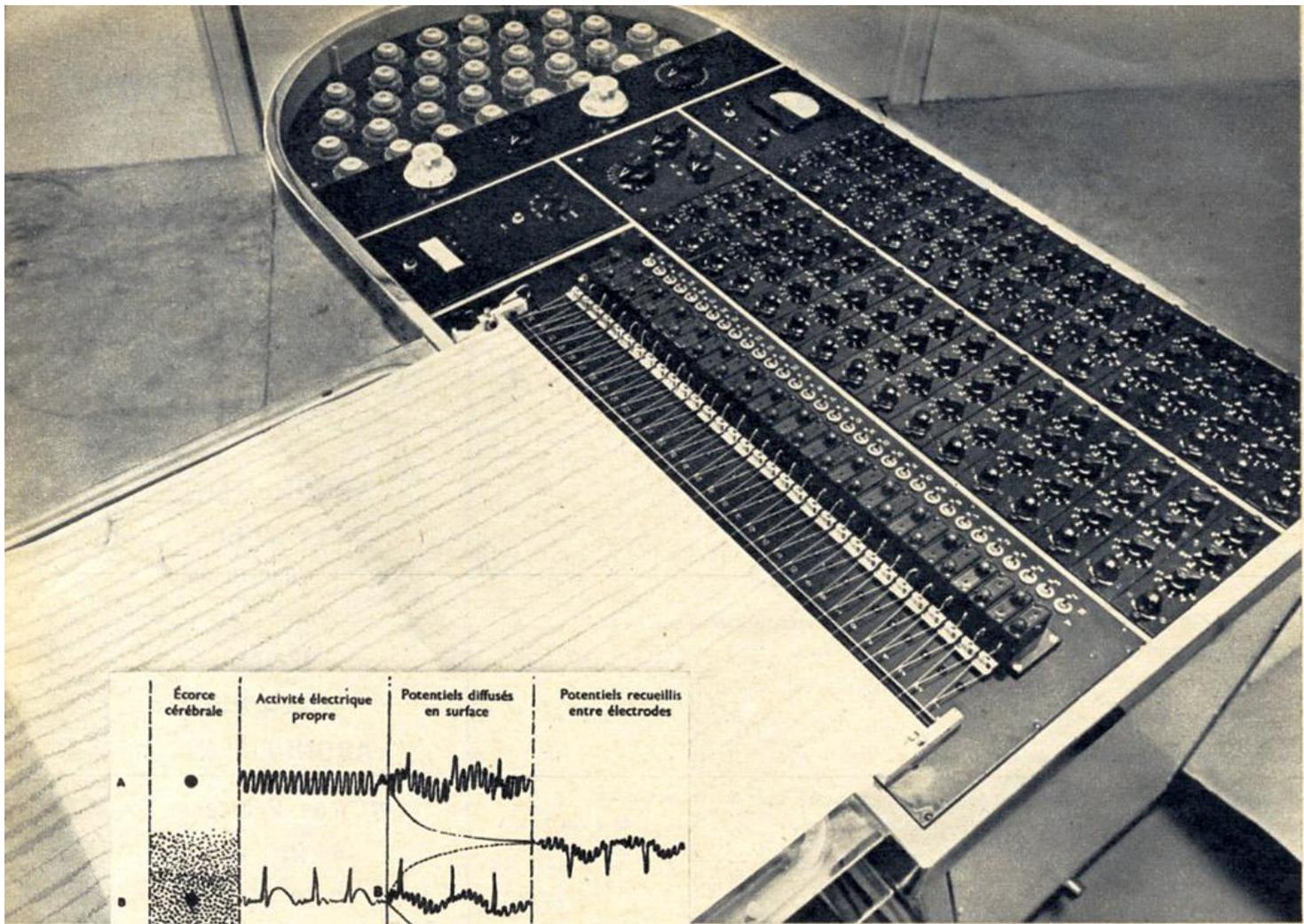
N° 143 • JANVIER 1959 • REVUE MENSUELLE

PRIX: FRANCE: 120 FR. • BELGIQUE: 20 FR. BEL.

l'avenir

L'électro-encéphalographie
sur le point de lire
nos pensées





Le problème de l'E.E.G. est schématisé sur ces quatre colonnes. A gauche, dans la colonne I, une bande de l'écorce cérébrale vue par dessus, du front (en haut) vers la nuque (en bas). Sur le cortex, prenons 5 points, A, B, C, D, E. Dans la colonne II on a indiqué ce que sont réellement les variations de potentiels dues à l'activité électrique propre à ces 5 points, variations que l'on détecterait si l'on pouvait enfoncer une électrode dans la matière grise à ces points précis et supprimer toute influence des régions voisines. Les tracés en A et en E sont normaux. Comme en C se trouve une tumeur, l'activité électrique est nulle, le tissu étant mortifié. En B et en D, dans les alentours de la tumeur, les tissus cérébraux souffrent, et nous voyons des manifestations électriques d'un état de souffrance, d'ailleurs différentes dans les deux cas : en B, des décharges en pointe, très caractéristiques de la proximité d'une irritation ; en D, ample rythme delta indiquant la nécrose. Malheureusement, l'électro-encéphalographie classique doit se contenter de poser ses électrodes sur le cuir chevelu ; à travers l'os et la peau, les phénomènes électriques seront fortement diffusés. Ce que l'on recueillerait donc en surface, c'est non seulement l'activité dans la zone immédiatement inférieure, mais aussi un reflet des activités d'alentour. Ce sont ces tracés que nous montre la colonne III. L'imbröglio est cependant encore plus complexe : entre deux électrodes posées en deux points de la surface du crâne, on n'obtient pas ces tracés mais la soustraction entre les potentiels de A et de B ou de B et de C. Ainsi a-t-on finalement les tracés de la colonne IV que donnent les dérivation AB, BC, CD, DE. Ce sont de véritables rébus que donne donc l'E.E.G. en proposant ces tracés. Ces rébus, le médecin doit les déchiffrer, il doit tenter de démêler l'activité propre en A, B, C, D, E. Sur un cas aussi net que celui-ci, ce serait l'enfance de l'art pour lui que de pronostiquer une tumeur en C. On remarquera l'inversion du tracé BC par rapport au tracé AB, particulièrement caractéristique ; c'est ce qu'on appelle un « tracé en miroir », le second semblant un reflet du premier ; Grey Walter a montré le premier que ce signe prouve que, en B, il y a souffrance du tissu cérébral.

La machine plonge dans l'abîme du cer

LE cerveau est un abîme insondable au dedans même de nous. C'est lui qui pense. Mais sait-il penser sur lui ?... Le plus grand problème qui se pose à notre intelligence, c'est de savoir comment fonctionne notre intelligence...

De ce but suprême des recherches psychologiques et neurologiques, on semblait, hier encore, très éloigné. Quels que soient les progrès de ces disciplines, elles ne remportaient guère de succès que dans le domaine de la pathologie, et encore lorsque les troubles cérébraux étaient très nettement, et même dramatiquement, accusés.

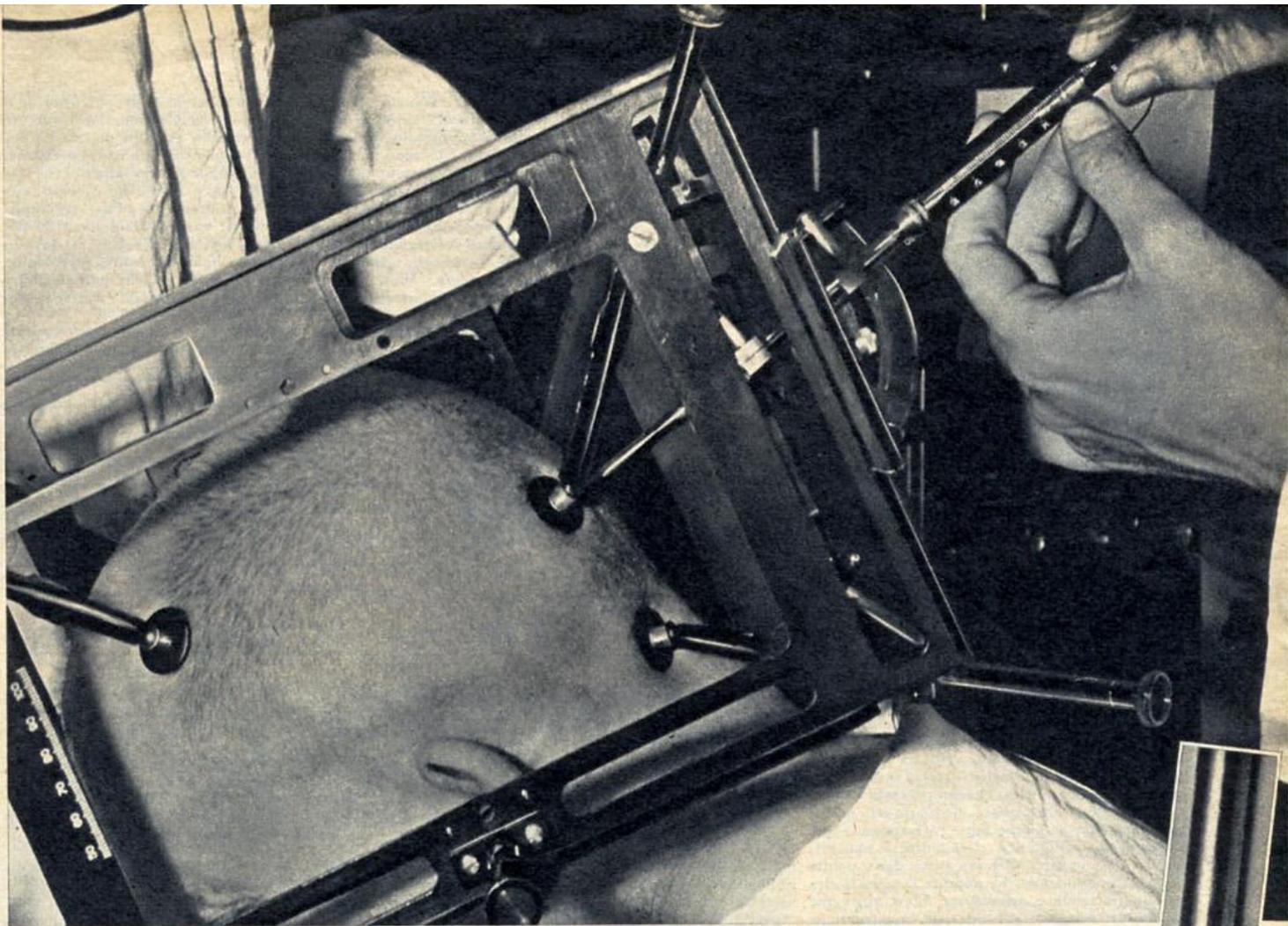
Mais voici que, aujourd'hui, une vaste révolution voit le jour : la pénétration des mécanismes normaux de l'activité cérébrale devient possible. L'étude des variations de potentiel électrique du tissu cérébral qui s'identifie à cette activité a fini par déboucher dans des méthodes toutes neuves aux prodigieuses possibilités.

Notre système nerveux est un véritable complexe de « piles humides ». Ces piles — les cellules nerveuses, les neurones — donnent des différences de potentiel d'un dixième à un vingtième de volt. Elles fonctionnent au potassium et au sodium, les échanges électriques dont elles sont le siège étant dus au mouvement d'ions de ces deux métaux, selon un mécanisme que nous avons récemment indiqué à propos de la fatigue musculaire (1), mécanisme qui est donc fondamental de la matière vivante.

Ne pensons pas pour autant à quelque « courant électrique » parcourant notre moelle épinière ou nos nerfs ! Il faut penser à de simples échanges d'électrons entre des cellules voisines. Malheureusement, il est extrêmement difficile pour nos moyens d'expérimentation de descendre à cette échelle.

Les phénomènes d'électricité cérébrale que nous avons pu étudier jusqu'ici ne peuvent être que la superposition statistique de ces phénomènes élémentaires ; notre observation, extrêmement grossière, ne nous donnait

(1) Voir Sciences et Avenir, N° 135, juillet 1958.



L'industrie française vient de battre un record du monde en électro-encéphalographie avec l'appareil de la société E.C.E.M. qui permet d'étudier en même temps 32 dérivations. Mais à quelle complexité arrivent ainsi les électro-encéphalogrammes ! Les tracés que l'on voit sur la feuille d'enregistrement semble défilé l'interprétation humaine. Mais, tandis que l'E.E.G. classique accumule toujours plus d'informations quitte à proposer des rébus vertigineux une méthode révolutionnaire est en train de naître : celle de l'étude directe des potentiels électriques à l'intérieur même du cerveau. On voit, ici, dans un hôpital parisien, la pose d'une de ces électrodes profondes qui, après 8 cm de parcours, ira trouver la région capitale des « noyaux gris cérébraux ». A droite, l'électrode profonde : la partie la plus épaisse s'arrête à l'os, la section suivante s'arrête à la dure-mère ; seule la troisième section pénètre dans le cerveau ; l'électrode se voit tout au bout.

veau à la recherche de nos pensées

pas la clef de notre activité cérébrale : elle permettait simplement au neurologue de déceler certaines perturbations graves.

Mais de sensationnelles et toutes récentes expériences élargissent le domaine de la neurologie jusqu'à celui de la psychologie. N'en est-on pas déjà à recueillir les activités électriques du cerveau par des électrodes enfoncées dans la matière grise de certains sujets qui vivent avec elles des semaines durant ?... Bien mieux, on peut exciter à volonté par ces électrodes des zones étroitement déterminées du cerveau, et y faire naître des impressions, peut-être même, déjà, des sentiments.

L'alchimie psychologique est là...

NOUS EN SAVONS TROP ET PAS ASSEZ

Après que, en 1929, le physiologiste allemand Hans Berger eut révélé au monde scientifique qu'on pouvait recueillir et enregistrer les variations de potentiel électrique se manifestant dans le cerveau humain, d'immenses espoirs naquirent : ce moyen devait permettre d'explorer de façon peut-être décisive les activités cérébrales.

Certes, il y avait longtemps que l'on avait démontré l'existence de l'électricité cérébrale. C'est le physiologiste anglais Caton qui, en 1875, l'avait mise en évidence en enfonçant des électrodes dans le cerveau d'un singe trépané. Mais Berger, lui, montrait qu'on pouvait recueillir les varia-

tions de potentiel à la surface même du crâne, sans la moindre opération, sans même être gêné par la chevelure. Certes, les premières expériences ne faisaient apparaître que de très sommaires informations.

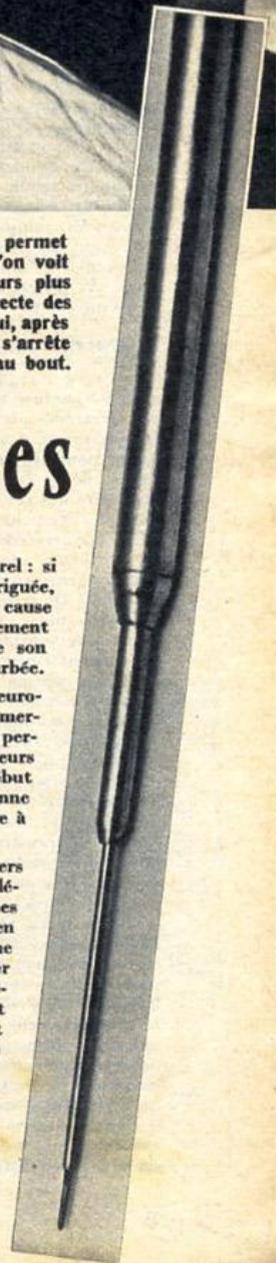
Mais ce fut bientôt le développement prodigieux de l'électro-encéphalographie, de l'E.E.G. qui donna une formidable masse d'enseignements. La méthode est aujourd'hui très généralisée ; aucun examen neurologique sérieux ne peut se concevoir sans la prise d'un électro-encéphalogramme ; les médecins spécialisés dans cette technique complexe se sont multipliés ces dernières années dans toutes les villes ; et toute opération sur le cerveau s'accompagne d'un examen direct des activités électriques par des électrodes mises au contact de la matière grise alors que le cerveau est à nu, de telle sorte que l'on peut déterminer avec une grande précision la zone déficiente dont on doit faire l'ablation.

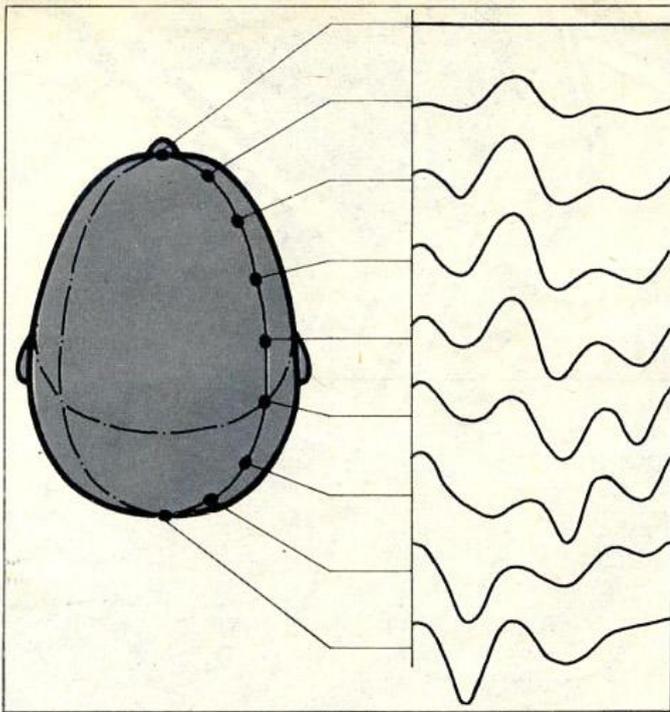
Dans l'immédiate avant-guerre et dans l'immédiate après-guerre, les découvertes se sont multipliées dans l'E.E.G. pathologique. On sait aujourd'hui détecter avec une sûreté remarquable les troubles de l'activité cérébrale qui prouvent la présence d'une tumeur ou bien déjà installée, ou bien en évolution ; de même, des atrophies congénitales ou cicatricielles de l'encéphale sont discernables par l'absence d'activité électrique y correspondant à la surface de la boîte

cranienne. Cela est tout naturel : si une zone du cerveau est mal irriguée, si elle se nécrose pour une cause quelconque, si elle est complètement mortifiée, il est évident que son activité électrique sera perturbée.

Ainsi, le neurologue, le neuro-chirurgien, possèdent-ils un merveilleux instrument qui leur permet de circonscrire les tumeurs et même de les détecter au début de leur évolution, ce qui donne une grande chance de réussite à l'ablation chirurgicale.

Mais, en dehors des divers troubles épileptiques, des lésions tumorales et de quelques autres cas pathologiques bien précis, il fallait avouer que l'E.E.G. ne pouvait pas démêler grand'chose de l'activité cérébrale. Elle s'avérait finalement un merveilleux instrument pour l'étude de la pathologie — plus exactement de la pathologie aux manifestations les plus graves — mais elle n'était pas, telle qu'on la maniait, un outil pour dé-

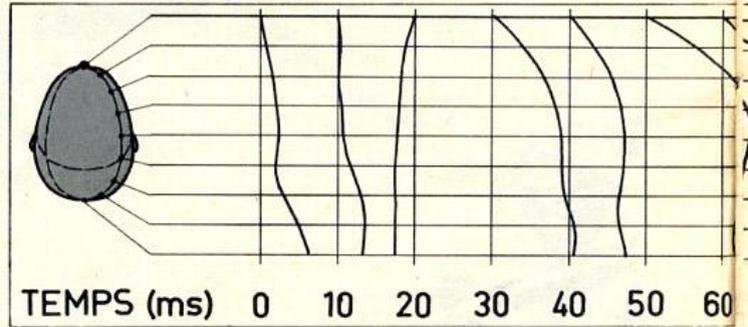




sur toute leur longueur, elles captent les différences de potentiel qu'à leur extrémité. Le sujet peut porter jusqu'à 80 électrodes qui ont été introduites par un minuscule trou de trépanation et qu'il pourra garder des semaines, des mois même si l'éclaircissement de son cas le nécessite.

Sur ces sujets, à tout moment, le neurologue pourra faire des électro-encéphalographies profondes. Il pourra les placer dans diverses circonstances, les soumettre à certaines excitations, leur faire accomplir certains actes. Et il verra comment, alors, varient exactement les potentiels dans les régions profondes. Cette méthode d'E.E.G. est révolutionnaire. Certes, elle ne pourra s'appliquer qu'à des sujets psychologiquement anormaux. Mais, pour le physiologiste, les cas pathologiques n'ont-ils pas toujours été les plus intéressants puisqu'ils montrent des dérèglements ?

On peut, également avec ces électrodes, exciter la région cérébrale où elles plongent. Et, de ce côté, des résultats sensationnels ont déjà



mêler le formidable imbraglio des fonctions cérébrales.

Quiconque a vu des électro-encéphalogrammes, quiconque, surtout, a essayé de se mettre à la place du médecin qui veut les « lire », est passablement affolé. Plusieurs tracés se déroulent sur des lignes parallèles; chacun présente de perpétuelles montagnes russes, dents de scie et autres clochetons. Chaque ligne correspond à une « dérivation » différente, c'est-à-dire à une différence de potentiel sélective entre deux points de la boîte crânienne. Le nombre des électrodes a toujours tendu à augmenter. C'est ainsi que la société française « Études et Constructions Electro-Mécaniques et Médicales » vient de battre un record du monde avec un nouveau modèle qui permet d'étudier en même temps 32 dérivations ! 32 stylets inscripteurs fonctionnent donc en même temps !

QUAND DES ÉLECTRODES PLONGENT DANS LE CERVEAU

Mais, au lieu de multiplier ainsi le nombre des électrodes pour accroître les éléments d'information qui parviennent à la surface du crâne, ne pourrait-on pas se débarrasser des obstacles, de la boîte crânienne, du scalp, de la chevelure qui contrarient gravement nos observations ? Ne pourrait-on placer les électrodes de l'E.E.G. directement sur la matière cérébrale ? Et si, même, nous pouvions pénétrer dans la matière grise, voire jusqu'au fond de la matière blanche ? De telles observations n'étaient, hier, possibles, nous l'avons dit, que dans le cadre d'une intervention chirurgicale pour délimiter exactement l'ère de l'ablation nécessaire.

Mais le neurologue norvégien C. W. Sem Jacobsen a inauguré une méthode révolutionnaire : il enfonce profondément des électrodes très fines dans le cerveau de ses patients !

Aussitôt, nous réagissons : on n'a pas le droit d'expérimenter ainsi sur un sujet humain ! On n'a pas le droit de risquer la moindre lésion dans son cerveau ! Mais il faut bien comprendre le cadre des travaux de Sem Jacobsen. Il s'agit pour lui de rechercher sur des sujets qui sont promis à une prochaine opération de neuro-chirurgie, quelle doit être exactement l'intervention que l'on devra pratiquer sur eux. On sait que des opérations exactes de la lobotomie sectionnent chirurgicalement des fibres du cerveau et, coupant certaines voies, modifient parfois spectaculairement mais souvent de façon peu probante le comportement du malade. D'autres fois, on enlève un hémisphère. Il est évident qu'avant des opérations aussi graves, le neurologue a non seulement le droit, mais le devoir d'étudier sur quelles régions exactes doit intervenir le bistouri.

Pour cela, Sem Jacobsen place des électrodes extrêmement fines — quelques microns — dans la zone litigieuse. Vernies, donc isolées

Nous avons groupé sur cette page 4 séries de schémas qui rendent compte d'un même phénomène : la réaction du cerveau à des éclairs se succédant à raison de 10 par seconde.

En A, on voit les réactions recueillies sur les diverses électrodes selon les méthodes classiques. En B, nous avons l'interprétation donnée par la machine pour l'ensemble de la ligne des électrodes du front à la nuque. On voit par toute la série des schémas vers la droite comment évolue cette courbe; chaque trait vertical correspond à une tranche d'un centième de seconde. Sur un écran cathodique, on verrait cette courbe fluctuer, passant d'une position à l'autre.

En C, les mêmes phénomènes sont interprétés en « nappes spatio-temporelles ». Verticalement, nous avons toujours la représentation spatiale du front à la nuque; horizontalement, est porté le temps. Une troisième « dimension » apparaît sur ce schéma : le voltage recueilli, négatif en noir, positif en blanc; et les valeurs relatives apparaissent grâce à des courbes de niveau. Ainsi, sur cette représentation, apparaît-il clairement qu'un éclair lumineux appelle d'abord une dépolarisation, surtout sensible vers la nuque, suivie par une repolarisation brève à laquelle succède une nouvelle dépolarisation généralisée.

De telles représentations, que permet d'obtenir la machine du Dr. Rémond, seront extrêmement fécondes dans l'avenir. Chaque phénomène donne en effet une « nappe » d'aspect différent. Cet aspect ne serait pas le même si l'éclair lumineux était plus rapide, moins rapide, plus fort ou plus faible. Que d'études en perspectives !

En D, ultime représentation, celle de l'activité électrique réelle à un instant donné. La machine prend la « dérivée seconde » des courbes précédentes. Cette représentation est celle qui apparaîtra sur l'écran de la machine française en construction.

été obtenus : on a guéri certaines psychoses en excitant électriquement les régions qui semblaient en être responsables. Nous voilà loin du moyen combien grossier des électro-choes qui envoient une violente impulsion électrique à l'ensemble du cerveau...

Nous avons vu un film présenté par Sem Jacobsen sur le traitement d'un cas de schizophrénie. Le sujet était visiblement apathique; dans la vie, rien ne l'intéressait, tout le laissait absolument indifférent. Mais, quand l'expérimentateur appuyait sur un certain bouton, le malade prenait aussitôt une physionomie vivante, il esquissait un sourire si l'excitation agissait sur un centre où elle était agréablement perçue; il esquissait une grimace de douleur si d'autres régions de son encéphale étaient excitées. Cette fois nous étions vraiment dans une officine d'un savant d'Hoffmann.

Bien mieux encore : le sujet apprend à appuyer lui-même sur un certain bouton pour se donner des sensations agréables !

A quand les pensées sur commande comme dans tant de contes fantastiques ?...

LA MACHINE A NOTRE SECOURS !

Mais ne nous laissons pas emporter dans un tel futurisme : le présent est déjà bien assez passionnant.

Le problème immédiat est de comprendre la langue que « parle » le cerveau, d'interpréter ses messages, qu'ils nous viennent directement des profondeurs du cerveau ou, indirectement, à

travers le crâne, par les multiples voies des électrodes d'EEG.

Dans de tels enregistrements, il est évident que la quantité des informations inscrites dans de si complexes tracés est fantastique. Toute la question est de savoir déchiffrer cet immense rébus. Comment, dans ce fouillis, dans cette accumulation de lignes, discerner le détail significatif ? Comment, à l'inverse, dominer assez l'ensemble pour faire apparaître des faits généraux qui pourraient nous donner la clé du mystère cérébral ?...

Du profond de nous-mêmes, du grand monde inconnu, voici que monte une énorme masse de messages. Hélas ! nous nous sentons désarmés devant cette profusion.

Toutes les parties du cerveau sont en perpétuelle activité électrique. Des différences de potentiel (nous ne disons pas des courants) apparaissent donc continuellement entre toutes les régions. Elles créent, dès qu'on veut étudier ces phénomènes, un véritable « bruit de fond » électrique. Il faut arriver à démêler, hors de ce brouillage perpétuel, quelques messages particuliers. Aujourd'hui, il nous faut comprendre que les tracés électro-encéphalographiques, tels que nous les pratiquons, ne sont peut-être qu'un moyen, parmi d'autres possibles, pour démêler l'écheveau des incessantes activités électriques qui jouent, qui se croisent, qui se tissent, qui se contrarient, qui s'additionnent, qui interfèrent entre les dix milliards de cellules de notre matière grise.

Cet article veut passer en revue quelques-uns

des moyens nouveaux — pour certains, très nouveaux — que les techniques, notamment la technique électronique, mettent aujourd'hui à la disposition de la neurologie.

Et d'abord, si l'on s'en tient à la prise classique d'électro-encéphalogramme, est-ce qu'il n'y a pas moyen de tirer des complexes messages ainsi recueillis, de nouvelles informations ?

Un profane est toujours étonné de voir un spécialiste lire avec rapidité un électro-encéphalogramme avec la même apparente facilité que se ferait la lecture d'un document scientifique rédigé en langage clair. A vrai dire, un médecin neurologue est capable, l'habitude aidant, de discerner tout de suite ce qui, dans les tracés,

les ondes *delta* (3 ou 4 par seconde; amplitude plus grande que celle du rythme *alpha*) et les ondes *thêta* (4 ou 7 par seconde; amplitude de 15 à 50 microvolts).

En regardant les très complexes « tracés », le médecin cherche à y distinguer ces diverses périodes et amplitudes. Mais pourquoi ne demanderait-il pas à une machine de les mettre en évidence ? Ainsi, ressortirait automatiquement soit l'activité *delta*, soit l'activité *alpha* par exemple.

Le problème tel qu'il se pose exige que l'étude du tracé soit fait sur un certain laps de temps. En effet, pour distinguer un rythme de, par exemple, trois par seconde, la machine comme le praticien doit évidemment se baser sur l'activité cérébrale de plusieurs secondes : c'est après coup qu'il est possible de savoir qu'ont été perçus des maxima d'intensité se manifestant sur ce rythme. En somme, il s'agit, mathématiquement, d'une analyse; aussi une telle machine est-elle dite « analyseur ».

Mais elle ne tracera pas la courbe de la fréquence qu'elle a décelée; son but est en effet de dire quelle a été la part de responsabilité de cette fréquence sur l'activité électrique globale enregistrée sur telle ou telle dérivation durant une certaine période. Ainsi un verdict électro-encéphalographique ne sera plus : « Il y a là des ondes de forme anormale », mais : « Il y a trop

résonance de circuits oscillants; admettons qu'on analyse un accord musical au moyen de diapasons; c'est le réglage des circuits oscillants qui posait d'atroces problèmes. Les analyseurs sont, eux, basés sur le principe des filtres : de même qu'une composante d'une certaine longueur d'onde est isolée dans une lumière complexe par un filtre coloré, de même agit un filtre électrique dont un exemple classique est le filtre qui, dans certains de nos postes de radio, sélectionne les fréquences envoyées ensuite sur tel haut-parleur spécialisé dans les graves ou dans les aigus. De plus, alors que l'analyseur anglais se basait sur l'activité cérébrale de dix secondes en arrière, l'analyseur français se contente d'une « base de temps » bien inférieure, deux secondes à peine.

LES ORACLES DE « TOPY »

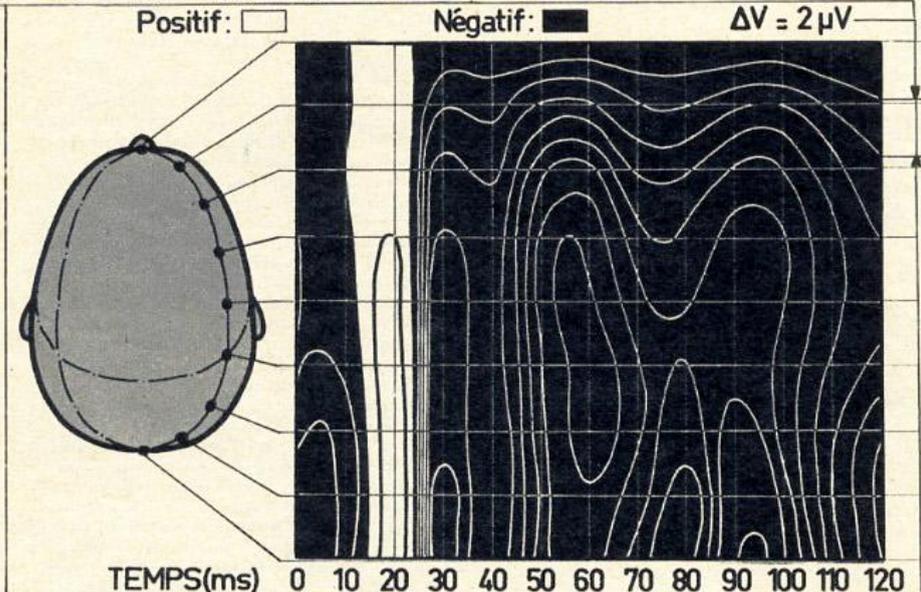
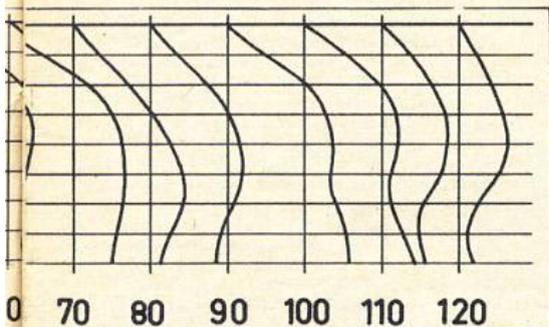
Une autre façon de prélever des informations sur l'activité cérébrale, c'est de rechercher la tendance de cette activité à l'instant même : non plus savoir ce qu'elle est, mais ce qu'elle est en train de devenir. Dans un tracé classique, on considère l'évolution sur un certain nombre de secondes en arrière; la machine saura, elle, retenir la différenciation qu'est en train de subir la courbe.

Et là encore, nous retrouvons le nom de Grey Walter qui, décidément, continue à jouer un rôle éminent dans l'histoire de l'E.E.G.

Le courant capté entre deux électrodes est dirigé sur un dispositif électronique — que nous nous garderons bien de décrire — dont la pièce essentielle est un petit oscilloscope dont apparaît seul le fond plat, l'« écran ». Des figures lumineuses se montrent sur cet écran lumineux. Selon leur forme, on sait immédiatement si, au point considéré, le cerveau est en activité normale, ou bien si son rythme est en train d'accélérer, ou bien si ce rythme est en train de ralentir. Dans le premier cas, on voit des stries concentriques peu marquées. L'accélération se manifeste, elle, par une figure à trois bras qui rappelle une nébuleuse spirale; plus les bras de la nébuleuse seront incurvés, plus grande est l'accélération. S'il y a, au contraire, tendance au ralentissement, les bras de la nébuleuse seront orientés en sens contraire.

22 de ces oscilloscopes sont montés sur un panneau dans une disposition correspondant à celle des électrodes sur le crâne. Ainsi obtient-on une très sommaire représentation topographique du cerveau. C'est pourquoi cet appareil a été baptisé « toposcope »; mais l'humour de Grey Walter en a fait « Topsy ».

Selon que le cerveau modifie ici ou là son activité, on voit, ici ou là, se mouvoir des formes



est anormal. « Cela saute aux yeux !, nous disait récemment l'un d'eux; tout ce qui est normal, je ne le vois même pas. » Cette facilité ne doit pas nous tromper : appréhender très vite l'anormal, c'est une chose; savoir, ensuite, de quel dérèglement profond dépend le tracé aberrant, là, à tel moment, sur telle dérivation, c'est bien autre chose ! Souvent, un détail anormal ne peut permettre, par lui-même, de comprendre; c'est son recouplement avec des symptômes neurologiques, avec des modifications du comportement ou avec l'enseignement d'une radiographie cérébrale, qui apporte la possibilité d'un diagnostic précis.

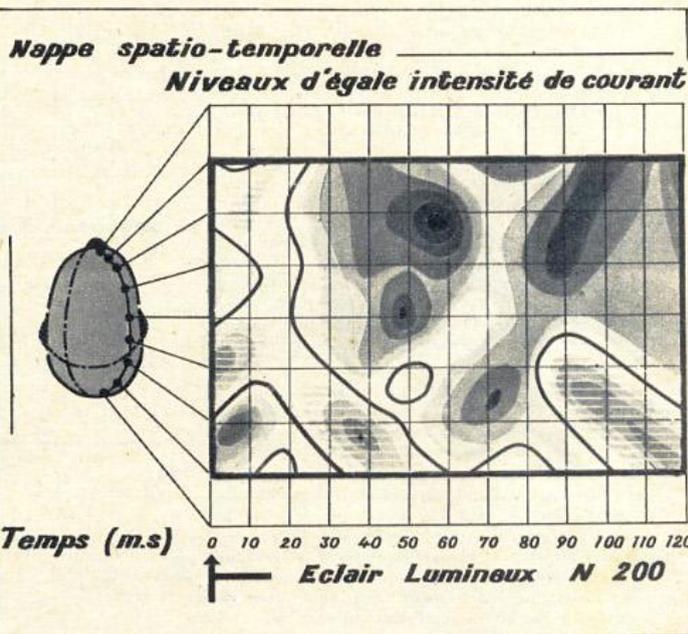
Mais notre esprit se sent découragé devant l'excès même des renseignements mis à sa disposition par les techniques de l'E.E.G. Il faudrait que le praticien dispose d'un dépouillement préalable de la masse des données enregistrées. Or, dans de tels cas, nous savons tous aujourd'hui que les machines électroniques peuvent venir au secours de l'esprit humain. On va voir que plusieurs machines ont déjà été proposées pour interpréter automatiquement les traces électro-encéphalographiques.

Rappelons brièvement que ces tracés aux ondulations complexes sont en réalité la résultante de plusieurs « ondes » différentes. Berger avait déjà distingué les ondes *alpha* (90 à 120 milli-secondes de durée; 5 à 50 microvolts d'amplitude) et les ondes *bêta* (fréquence de 17 à 50 par seconde; amplitude d'environ le 1/8^e des ondes *alpha*). Après lui, Grey Walter a mis en évidence

de fréquences 40 par seconde ou pas assez de fréquences 5 par seconde.»

Grey Walter à Bristol, a depuis douze ans construit un analyseur qui fut longtemps d'un fonctionnement extrêmement délicat. On le réglait avec science et patience; et puis, à peine avait-il fonctionné quelques heures qu'il devait à nouveau être réglé. Il exigeait de fréquentes révisions par un électronicien. Aujourd'hui, un récent modèle est infiniment plus stable.

Deux maisons françaises d'appareillage électrique médical, viennent de réaliser un analyseur d'un type différent, de complexion moins délicate, de comportement moins capricieux. Pour élire dans le complexe de rythmes « un » certain rythme. Grey Walter utilisait le mécanisme de la



lumineuses, alors que l'activité fondamentale ne forme sur les écrans qu'une luminosité vague. C'est ainsi que des éclairs dans les yeux du sujet donneront des échos sur les écrans correspondant à la nuque. Soulignons bien qu'il n'est pas question de saisir des rythmes, mais les tendances instantanées de ces rythmes dans les diverses régions du cerveau. Là, à tel instant, en liaison avec telle excitation, il y a eu accélération bientôt suivie d'un ralentissement dans la région voisine. Voilà le type des renseignements que nous livre Topsy.

Cette machine, de maniement difficile, Grey Walter vient de l'utiliser dans des expériences très subtiles, de véritables expériences de psychologie. En psychologie animale, des animaux, des rats notamment, sont soumis à des tests d'apprentissage dans des labyrinthes dont ils doivent trouver la sortie. C'est à des tests équivalents d'apprentissage que Grey Walter soumet des sujets humains, des sujets normaux, non des malades. Il les enferme dans des cabines isolées de toutes sollicitations extérieures en leur disant simplement qu'ils vont être soumis à une expérience d'apprentissage et qu'ils devront manœuvrer certains boutons placés devant eux.

Le cobaye humain reçoit de petites décharges électriques fort désagréables. Il pense que la manœuvre de tel ou tel bouton pourra le délivrer de ce désagrément. Il cherche; tout d'abord, il n'obtient pas de diminution dans les décharges; il peut même en obtenir le renforcement; mais finalement, après quelques tâtonnements, il découvre que la manœuvre de certains boutons selon une certaine loi lui apporte la délivrance.

Il y a là un schéma de tout apprentissage : période d'excitation, période de réflexion, période de découverte, établissement enfin d'un acte qui devient bientôt automatique. Eh bien ! à chacune de ces phases psychologiques correspondent des activités différentes du cerveau que révèle le toposcope. Cette fois, nous sommes loin des manifestations grossières d'une tumeur ou d'un centre épileptique sur un tracé d'E.E.G. ! Nous sommes loin aussi des résultats auxquels on pourra parvenir en perfectionnant une telle méthode de travail.

Indiquons simplement une des plus surprenantes découvertes de Grey Walter dans ses récentes expériences : si la décharge douloureuse qui se faisait d'abord selon un certain rythme, se fait ensuite attendre, le sujet ressentira évidemment une impression d'anxiété. Or, à ce moment-là, Topsy rend un verdict extraordinaire : elle fait apparaître des activités absolument analogues à celles du sommeil ! Comprenez qui pourra ! Pour le moment, personne ne le peut...

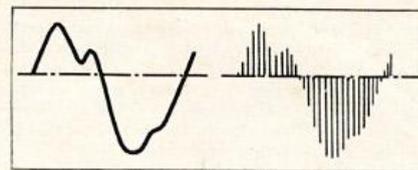
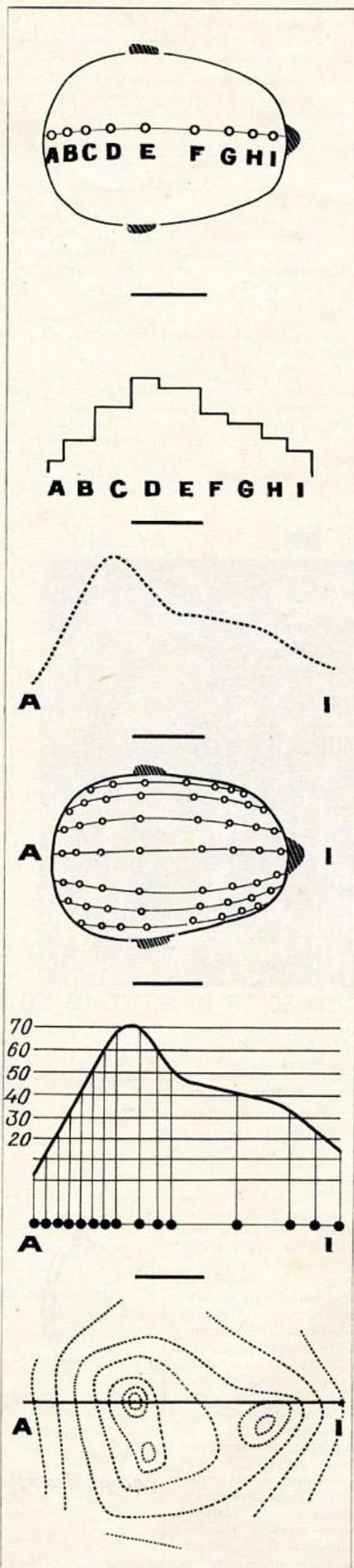
Au Congrès de la Salpêtrière, en octobre, le Dr Fischgold, un des chefs de file de l'E.E.G. française, a pu dire à Grey Walter : « Vous venez de révéler une terre promise. En vous entendant, je me sentais saisi d'humiliation devant la grossièreté de nos méthodes habituelles. »

COMMENT L'ÉLECTRONIQUE TROUVE SES « LOIS »

Aussi passionnant que tout cela apparaisse, une machine, elle, française, en préparation et qui n'a pas encore atteint ses pleines possibilités, va infiniment plus loin. C'est celle qu'élabore à la Salpêtrière, dans le service du professeur Alajouanine, le Dr A. Rémond. Elle n'est pas simplement capable d'analyser les composantes fréquentielles d'un tracé d'E.E.G., mais de se livrer sur ce tracé à n'importe quel travail d'exploitation mathématique.

C'est qu'elle est couplée avec des éléments de machine à calculer, et qu'une telle machine est, par principe, capable des calculs les plus divers. Mais une machine ne peut travailler sur une courbe, elle doit recevoir des valeurs. Voici comment, à la base, on procède.

L'activité cérébrale détectée par une « dérivation » entre deux électrodes placées sur le crâne, est mesurée tous les millièmes de seconde et, à chaque fois, la machine reçoit un certain voltage, soit positif, soit négatif. Le schéma ci-dessous fait immédiatement saisir cela : tout se passe comme si les sinuosités du tracé étaient remplacées par des hâchures verticales (1).



Ces séries d'impulsions, la machine va les utiliser de toutes sortes de façons; et l'on doit bien comprendre qu'elle pourrait les utiliser d'autres façons encore si on la dotait d'organes de calcul encore plus nombreux. Ainsi apparaît-il une fois de plus que les méthodes de la machine et celles de l'homme sont fondamentalement différentes : l'homme, ici, tente d'appréhender la réalité profonde en regardant la forme du tracé E.E.G., alors qu'une suite de valeurs chiffrées n'évoquera absolument rien pour lui; la machine, au contraire, est incapable de considérer les formes des courbes alors que, de la suite des valeurs, elle tire une prodigieuse masse de renseignements.

L'opération essentielle dont va se charger la machine, celle sur laquelle tout le reste sera fondé, c'est de sélectionner, dans les activités confusément mêlées captées sur une zone de cerveau, certains rythmes particuliers; c'est cette activité sur une fréquence choisie qui fera l'objet des manipulations électroniques, des exploitations mathématiques qui vont suivre.

Dans le phénomène dont la machine reçoit la mesure se répétant mille fois par seconde, les mécanismes électroniques vont chercher des « auto-corrélations ». Il y a corrélation, notion aujourd'hui capitale de la statistique et même de toute la science, lorsqu'on distingue une certaine concordance dans les variations de deux faits qui peuvent paraître indépendants; par exemple, il y a corrélation évidente entre l'âge d'une voiture et le nombre de ses pannes. Mais, ici, nous cherchons des auto-corrélations, c'est-à-dire des concordances d'un phénomène avec ce qu'il était lui-même en arrière dans le temps.

Supposons, par exemple, que l'on relève tous les jours à midi la température en un lieu donné et que l'on trace la courbe de cette température. Sur un nombre restreint de jours, le tracé apparaîtra sans doute anarchique; au début de juin, par exemple, après deux ou trois chaudes journées, la température s'abaissera bien que l'on se dirige à grands pas vers l'été; puis, la courbe remontera pour redescendre quelque peu, etc. Cependant, si nous considérons une telle courbe sur une durée de plusieurs années, le rythme annuel des saisons apparaîtra parfaitement malgré toutes les anomalies journalières. Nous aurons établi une auto-corrélation du phénomène « température » avec ce qu'il était douze mois plus tôt.

Autrement dit, établir une auto-corrélation, c'est connaître le rythme selon lequel un phénomène présente des ressemblances avec lui-même.

Les machines à calculer peuvent facilement assumer la recherche des auto-corrélations dans une suite de valeurs. Pour cela, elles comparent le phénomène avec ce qu'il était à différents temps en arrière; et quand elles auront retrouvé dans le temps la répétition des mêmes valeurs, alors elles auront mis en évidence une auto-corrélation (2).

Du désordre apparent des oscillations élec-

(1) Il faut noter que la machine trace néanmoins la courbe.

En effet, la plume enregistreuse n'a pas le temps de redescendre à sa position de repos entre deux impulsions successives; pratiquement, elle suit les sommets des impulsions, elle trace leur « enveloppe ».

(2) On peut comprendre facilement la méthode de la machine : elle procède par soustraction. Pensons à la courbe du froid et de la chaleur au long de l'année. Si nous décalons un morceau de notre courbe de 9 mois ou de 10 mois et que nous soustrayons les valeurs journalières de la température de ces deux courbes, le résultat de cette soustraction donnerait une certaine valeur. Mais ces différences deviendraient minima si le décalage était de 12 mois. La machine aurait découvert que le rythme des saisons est de 365 jours. On comprend maintenant comment procède la machine : elle compare la valeur de l'instant présent avec les diverses valeurs passées — que, cela va de soi, ont conservées des mémoires électroniques. Plus exactement, elle compare toute une série de valeurs avec une autre série plus en arrière. Et quand elle arrive à mettre le doigt sur une différence nulle ou presque nulle, elle a trouvé une auto-corrélation.

triques enregistrées sur le crâne, une machine à calculer tire des rythmes qu'elle peut isoler.

OU L'ON VOIT LE CERVEAU RÉAGIR

Nous obtenons donc automatiquement une composante d'un rythme cérébral complexe, et nous pouvons savoir quelle a été son activité propre durant un certain temps passé.

Jusqu'ici, nous ne nous situons que sur une seule dérivation, entre deux électrodes, autrement dit à la place d'une plume inscrite. Maintenant, nous allons voir ce qui se passe pour toute une série d'électrodes A, B, C, D, E, F, G, H, I, disposées sur une même ligne longitudinale, de la nuque au front (croquis 1).

Ces électrodes permettront 8 dérivations. Pour la dérivation AB, nous aurons une certaine valeur des activités sur la période de temps antérieure considérée; nous aurons une autre valeur pour la dérivation BC, une troisième valeur pour la dérivation CD, etc. Nous obtenons ainsi la figure en marches d'escalier qui représente les diverses valeurs du rythme considéré entre les 9 électrodes, de la nuque à gauche au front à droite (croquis 2).

Mais nous ne connaissons que des valeurs prises entre des électrodes. Nous préférons une courbe continue. Qu'à cela ne tienne! L'électronique sait fort bien nous calculer, et même faire voir sur l'écran d'un oscillographe, la courbe la plus probable passant par des points donnés. (Électriciens et électroniciens comprendront que nous parlons d'un dispositif analogique.) La machine nous « sort » donc la courbe valable pour la section longitudinale du crâne selon la ligne des électrodes A... I (croquis 3). Cette courbe représente l'activité à un instant donné et nous la verrons fluctuer si nous la regardons dans le temps.

Nous pouvons maintenant comprendre les démonstrations qu'a faites le Dr Rémond aux Journées Neurologiques de la Salpêtrière, en octobre, devant les sommités mondiales. Il faisait apparaître directement sur un écran d'oscilloscope cette courbe en trait de lumière bleue. Elle était à peu près horizontale si le sujet ne se livrait à aucune activité et n'était excité par rien. Mais, des excitations lumineuses la faisaient monter vers la gauche, c'est-à-dire vers la nuque. D'autres sujets ayant été préparés avec une série d'électrodes, au contraire transversales, d'une tempe à l'autre tempe, on voyait apparaître alors sur la courbe correspondante des sommets sur une tempe et sur l'autre, correspondant à l'audition des sons.

Une démonstration remarquable put être faite sur un malade qui, à la suite d'un accident, souffrait d'une fracture du rocher et dont le nerf auditif avait été quasi sectionné. Du côté correspondant à la bonne oreille, on voyait, lorsqu'un son était émis par un haut-parleur, la courbe s'élever en colline, en montagne, en pic. De l'autre côté, rien de tel. Le sujet était bien sourd mais il souffrait d'hallucinations auditives, de véritables sensations sonores parfois très douloureuses. Or, chaque fois qu'il avait mal, on voyait des pseudo-sensations sonores faire hausser la courbe du côté correspondant; et cela même alors que le haut-parleur était silencieux. Ainsi, on « voyait » à la fois l'audition du sujet et ses hallucinations auditives!

La méthode est bouleversante. Elle permet de dire, dès aujourd'hui, si un homme est réellement sourd; et, demain, on pourra faire des examens audiométriques qui ne seront plus entachés de subjectivité: on saura réellement si un sujet perçoit ou ne perçoit pas des vibrations soit très graves soit très aiguës.

Mais chacun de se demander: « Et les pensées? Ne peut-on pas les « voir »? » Mais si, on les « verra ». Seulement, l'expérimentation avec la machine ne fait que commencer et l'on ne s'est pas encore attaqué à des phénomènes aussi subtils. Ce qui est dès maintenant certain, c'est que, lorsqu'un sujet soumis à des excitations visuelles ou auditives, se livre parallèlement à un effort intellectuel, la courbe n'est plus du tout la même. Elle fluctue de façon fort différente lorsque, par exemple, on demande à un sujet de compter à partir de 100 à rebours, opération qui demande une certaine concentration d'esprit. Autrement dit, on voit en quoi la réflexion modifie les per-

ceptions normales, on ne voit pas encore nettement la réflexion en elle-même.

Qui n'a le vertige devant les formidables perspectives qui s'ouvrent aux expérimentations de demain?

UNE CARTE ÉLECTRIQUE DU CORTEX

Le Dr Rémond et son jeune collaborateur André Ripoché sont en train de développer considérablement leur déjà si complexe ensemble de mécanismes électroniques: au lieu de simplement explorer le cerveau selon une section soit longitudinale, soit transversale, ils veulent explorer de la même façon par huit rangées de neuf électrodes permettant 64 dérivations. Et l'enjeu, c'est d'offrir d'une façon continue sur un écran une image topographique des activités cérébrales. Non plus seulement une coupe, mais une carte. (croquis 4)

Il faut d'abord comprendre que la courbe que nous regardions tantôt, peut être figurée sur une seule droite lumineuse qui sera d'autant plus

d'Hoffmann sinon dans le laboratoire du Docteur Faust. (croquis 6)

Et, pourtant, ce n'est pas encore tout: en mesurant l'activité sur une certaine période, nous n'avons pas saisi l'activité de l'instant exact où nous sommes. Or, c'est à elle que nous voudrions parvenir. Il semble impossible de savoir sans un suffisant examen dans le passé ce qu'est cette activité sur une fréquence donnée; mais, des manipulations purement mathématiques vont nous le permettre.

Pensons à un parcours en automobile. Nous pouvons voir ce voyage sous plusieurs aspects. Le plus évident est de dire: « J'ai déjà fait 42 km depuis mon départ. » On comprend que ce point de vue correspond à l'examen que nous venons de faire de l'activité cérébrale en arrière. Mais, dans notre auto, nous pouvons mesurer la vitesse de l'instant présent. Pour cela — tout élève des classes secondaires le sait — il faut prendre la « dérivée » du mouvement, laquelle nous dira comment varie la distance quand varie le temps.



Un examen au toposcope par Viviane Grey Walter, à Bristol. A gauche, dans l'autre pièce le sujet, à droite les 22 tubes cathodiques du toposcope, ceux du front étant en haut, ceux de la nuque, en bas. Au tableau noir, remarquable diverses figures qui peuvent être lues sur des tubes cathodiques, en particulier la figure en spirale à trois branches.

lumineuse que la courbe qu'elle représente sera raide. Un dispositif électronique, aujourd'hui classique sous le nom de « comparateur », se charge de cette tâche. Le petit croquis 4 permet de comprendre son principe. Chaque fois que la courbe traverse les degrés d'une échelle de voltage, un point lumineux correspond sur la ligne droite où nous voulons, en quelque sorte, la projeter. On voit bien que plus la pente est raide, plus grande est la densité des points lumineux. (croquis 5)

Il suffit maintenant de comprendre que nous aurons 8 courbes correspondant aux 8 sections parallèles du crâne, qui permettent les 72 électrodes; et il suffit de saisir par intuition que la méthode analogique permet de passer d'une section à une autre section en donnant toute une série de valeurs probables pour les points du cerveau non directement observés.

Ainsi, en arrive-t-on à une véritable représentation lumineuse de l'ensemble du cerveau pendant une certaine période de temps passé et jusqu'à l'instant présent. C'est déjà un résultat extraordinaire, qui nous transporte dans un conte

Mais les véritables « événements » de notre voyage, c'est encore autre chose: le fait que, ici, nous ralentissons, le fait que, là, nous accélérons. Pour obtenir cette « accélération » (qui peut être positive ou négative), il faut prendre la dérivée de la vitesse, c'est-à-dire obtenir la dérivée seconde du mouvement.

De la même façon, si nous demandons à notre machine de prendre la dérivée seconde de notre fameuse courbe ou plutôt de toute notre série de courbes correspondant à des sections du cerveau, nous obtiendrons la représentation de l'activité cérébrale en fonction d'un certain événement, et à l'instant actuel. Nous serons arrivés à la représentation immédiate sur un écran lumineux de toutes les manifestations électriques de l'encéphale!

C'est à dessein que cette phrase employait le futur: il nous faut en effet attendre au moins un an pour voir ce qui sera sans doute le plus prodigieux des spectacles permis par la science: le cerveau humain qui se meut, qui vit, qui pense.

Pierre de LATIL.