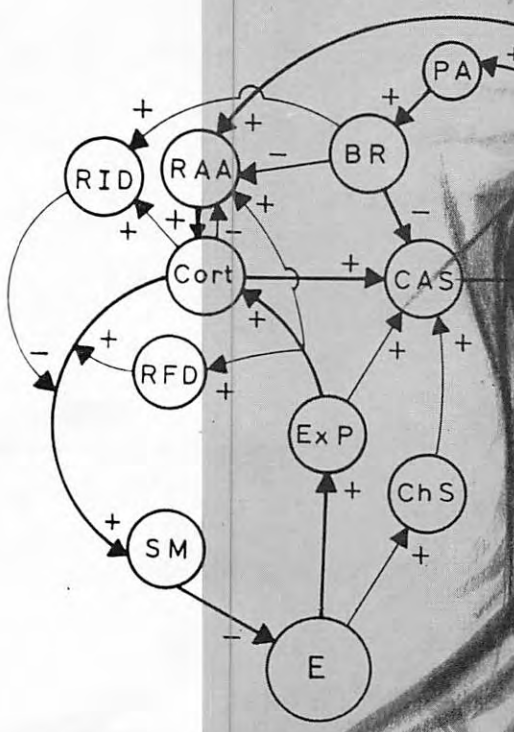
la cybernétique



P review/sept. 67
n° 27
mestriel

3 le mécanisme de la vie

n° 27 / septembre 1967 / trimestriel

la cybernétique

Message de M. Paul BRIEN

Professeur honoraire de l'Université Libre de Bruxelles
Membre de l'Académie Royale de Belgique
Membre correspondant de l'Institut de France

Intelligence, Instinct et Cybernétique par le Dr Léon ECTORS

Agrégé de l'Enseignement Supérieur
Chef du Service de Chirurgie générale à l'Institut Médico-chirurgical d'Etterbeek

La Cybernétique et la Machine humaine par le Dr Henri LABORIT

Prix Albert Lasker

Projet pour un homme artificiel par M. Etienne VERMEERSCH

Professeur à l'Université de l'Etat à Gand

La Médecine cybernétique par le Dr Aldo MASTURZO

Professeur à l'Université de Naples
Président de la Société Internationale de Médecine cybernétique

■

M. Georges R. BOULANGER,

Professeur à l'Université Libre de Bruxelles et à la Faculté Polytechnique de Mons, Président de l'Association Internationale de Cybernétique, a bien voulu accepter de nous conseiller pour la réalisation de la présente publication.

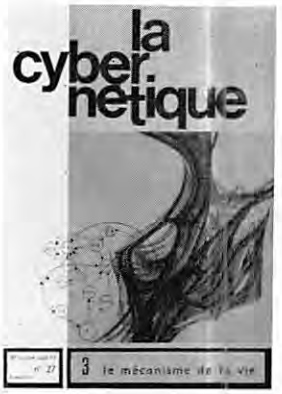
■

Les documents photographiques illustrant ce magazine nous ont été confiés par l'Ambassade des U.S.A.; l'Université Libre de Bruxelles; Paul Almasy; Atlas Photo (J. Dragesco et J. Le Cujiat) et Holmès Lebel.

Les maquettes typographiques ont été conçues et exécutées par
M. Piet SERNEELS,
Professeur à l'Académie Royale des Beaux-Arts d'Anvers.

notre couverture

La complexité de la nature semble s'opposer à la simplicité des schémas cybernétiques. Et ceux-ci, cependant, n'apportent-ils pas la clef de l'explication du mécanisme de la vie?



BP review est publié par BP Belgium s.a.
162, J. van Rijswijcklaan - Anvers
Toute correspondance concernant BP review doit être adressée à la Division des Relations Publiques de BP Belgium s.a.
162, J. van Rijswijcklaan - Anvers
Editeur responsable : E. ALLEBE
245, Mechelsesteenweg - Anvers
Rédacteur en chef : Marcel BEAUFAYS
Photogravure De Schutter
Imprimerie E. Stockmans & C° s.a.
Nederlandse uitgave op aanvraag

MESSAGE DE M. PAUL BRIEN

Professeur honoraire
de l'Université de Bruxelles

Membre
de l'Académie Royale de Belgique

Membre correspondant
de l'Institut de France

La vie n'est pas une entité, elle n'est pas un principe. La vie n'existe pas en soi. Elle se manifeste dans les êtres vivants, c'est en eux seuls qu'elle trouve sa réalisation.

Les composants chimiques des substances dites vivantes et que la biochimie dissocie, définit, dont elle analyse les fonctions, ne sont pas vivants par eux-mêmes et considérés séparément; mais ils sont capables d'entrer en des organisations qui confèrent ''l'état de vie'', cet état physique particulier, propre à l'organisme qu'ils forment. ''Nulle sorte et nulle particule de matière ne saurait avoir en elle-même la propriété de vivre, de sentir... ni celle de penser'' (Lamarck).

L'être vivant est en ''état de vie'' parce qu'il est structuré : c'est une machine. Voici déjà plus de trois siècles que Descartes l'affirmait dans son Discours de la méthode pour bien conduire sa raison aussi bien que dans sa Dioptrique et dans son Traité de l'homme. Depuis, la physiologie et la biologie appartiennent aux sciences expérimentales, puisque les organes et les fonctions peuvent être envisagés comme phénomènes physiques dans leurs relations contrôlables, mesurables tout autant que peuvent l'être les rouages d'une machine. On est autorisé à en rechercher le déterminisme, d'en trouver l'expression mathématique.

L'être vivant étant, par sa structure et son organisation, une machine fonctionnelle est donc ''finalisé''. Tous les groupes zoologiques le montrent à l'évidence. C'est une machine autoréglée, autocontrôlée, autogouvernée, pareille à une machine cybernétique que, dans le prolongement de la pensée de Descartes, Norbert Wiener définit dans les mêmes termes. Sans doute les ''modèles'' que nous présente la cybernétique, ceux qu'inventa Grey Walter, ne sont que des modèles des comportements animaux. Les uns et les autres n'obéissent pas nécessairement aux mêmes procédés mécaniques. Mais leurs similitudes étonnantes autorisent à conclure que, par des modalités distinctes, ils s'accomplissent selon des principes physiques fondamentalement identiques. Les animaux sont des robots d'une extrême complexité.

Puisque le cerveau est une machine capable de ce qu'on lui reconnaît, on ne peut, de prime abord, contester aux machines électroniques d'en faire autant. Ce qui différencie le cerveau, qui s'est édifié lui-même au cours de son ontogénèse, et les machines cybernétiques inventées par ce cerveau, c'est la complexité du premier qui, selon Teilhard de Chardin, donne la notion d'un ''troisième infini''.

Cependant, si éloignées que soient encore les structures vivantes autogouvernables des machines cybernétiques actuelles les plus perfectionnées, nul n'est en droit de mettre des limites aux progrès des connaissances de la physique, de l'électronique, de la technique dont les réalisations surprenantes et rapides sont, pour les biologistes, un considérable enseignement.

Depuis toujours, la ''finalisation de fait'' des êtres vivants à suscité un conflit qui obsède la biologie, car il paraît ne recevoir aucune solution.

Les finalistes spiritualistes confondent cette finalisation de fait avec le finalisme métaphysique. Ils la considèrent comme la manifestation, l'expression d'un principe étranger à la physique et, par conséquent, inaccessible à notre entendement, immanent

Médecine et machinisme. Des mots que la cybernétique a rapprochés...

cependant à la vie : la force vitale, l'élan vital, l'entéléchie, l'idée directrice, pour reprendre les termes utilisés par les plus grands philosophes en cette matière.

Les mécanicistes ont cherché à minimiser la finalisation de l'organisation vivante, à souligner ses approximations, ses écarts, ses erreurs; ils ont tenté néanmoins de l'expliquer - car ils ne peuvent la contester - par l'effet du ''hasard''. Il est vrai que les conceptions darwiniennes et néo-darwiniennes mutationistes en ont donné une théorie logique et cohérente en faisant appel à la sélection naturelle. De toutes les variations possibles dues au hasard des mutations qui se font en tout sens, la ''compétition pour la vie'' ne retient que les plus favorables. C'est la survivance des plus aptes, donc adaptées et apparemment finalisées.

Il est vain et stéril, pour les progrès de la connaissance, de vouloir ranimer les fantômes d'un finalisme métaphysique. Mais il est tout aussi impensable d'attribuer au hasard, même finalisé par la sélection naturelle, la réalisation des organisations vivantes, celle de chaque organe fonctionnel : les coaptations des articulations entre les phalanges des doigts de la main, celles des muscles qui les animent, des vaisseaux sanguins qui les nourrissent, des nerfs qui y aboutissent, celles de leurs connexions avec les centres nerveux; la constitution de l'œil, de l'aile; la structure du cerveau, etc... Il n'est point nécessaire de refaire un cours de zoologie pour s'en convaincre.

Un des plus clairvoyants biologistes de cette première moitié du XXème siècle, Lucien Cuénot, se résigna à reconnaître, en dernière analyse, un ''anti-hasard'' propre aux êtres vivants, un finalisme restreint, mitigé, intermittent, mais qui n'implique pas moins l'intervention d'une volonté intelligente et transcendante et entraîne la biologie dans l'inconnaissable métaphysique.

Se pourrait-il vraiment que la ''finalisation de fait'' soit irréductible au déterminisme et au mécanicisme? Est-elle nécessairement l'expression d'un principe supraphysique et spiritualiste? Le problème n'est-il pas, au contraire, de placer la finalisation dans le domaine expérimental, d'en rechercher le déterminisme, l'explication physique, de s'efforcer d'établir la synthèse scientifique entre la finalisation de fait et le déterminisme?

Sans doute, s'exclamera-t-on, prétendre que l'ontogénèse, créatrice de l'être vivant, aboutit, par des processus physico-chimiques, aux inductions réciproques et complétives entre les ébauches embryonnaires, à la coaptation entre des organes, à l'harmonie de leurs fonctions en une unité morphologique, physiologique, psychique dont le comportement est adapté au milieu ambiant, c'est accorder ''l'intelligence'' à la vie! Faut-il vraiment s'en étonner? L'intelligence conceptuelle, la pensée, la conscience ne sont-elles pas l'aboutissement de ces complexifications organogénétiques consécutives à l'évolution zoologique et dont l'origine est dans cette intelligence obscure, cette intelligence physique, organique - qu'importe le nom qu'on lui donne - qui correspond aux ajustements nécessaires et suffisants propres à toute existence, à l'existence atomique, cosmique, mécanique, vivante, et dont les rapports se formulent en lois mathématiques? L'intelligence du psychisme de l'animal quel qu'il soit, est-elle en dehors de la vie?

N'apparaît-elle pas et ne disparaît-elle pas avec elle ? Ainsi que le disait un jour l'illustre Jules Bordet lorsqu'il parlait de la finalisation des phénomènes physiologiques de l'animal : Nous sommes intelligents parce que nous sommes vivants.

La finalisation de fait, le déterminisme, le mécanisme ne peuvent s'exclure. Les progrès de la physique, de la biophysique, de la biochimie nous autorisent à l'admettre. Mais voici que les conceptions et les inventions étonnantes de la cybernétique viennent définitivement nous en convaincre, nous annonçant la possibilité de cette synthèse strictement scientifique et fondamentale pour la biologie et la philosophie.

Il ne suffit donc pas à l'homme de science, de chercher à satisfaire sa curiosité, quelque peu démoniaque, par l'analyse de ce qu'il observe. Il veut encore se convaincre de l'exactitude de ce qu'il croit comprendre, en réajustant ce qu'il vient de dissocier. Non content d'admirer, de contempler la vie, ce qui devrait suffire, semble-t-il, à son bonheur, il démonte les rouages de cette machine en ''état de vie'' dans l'espoir de la reconstruire.

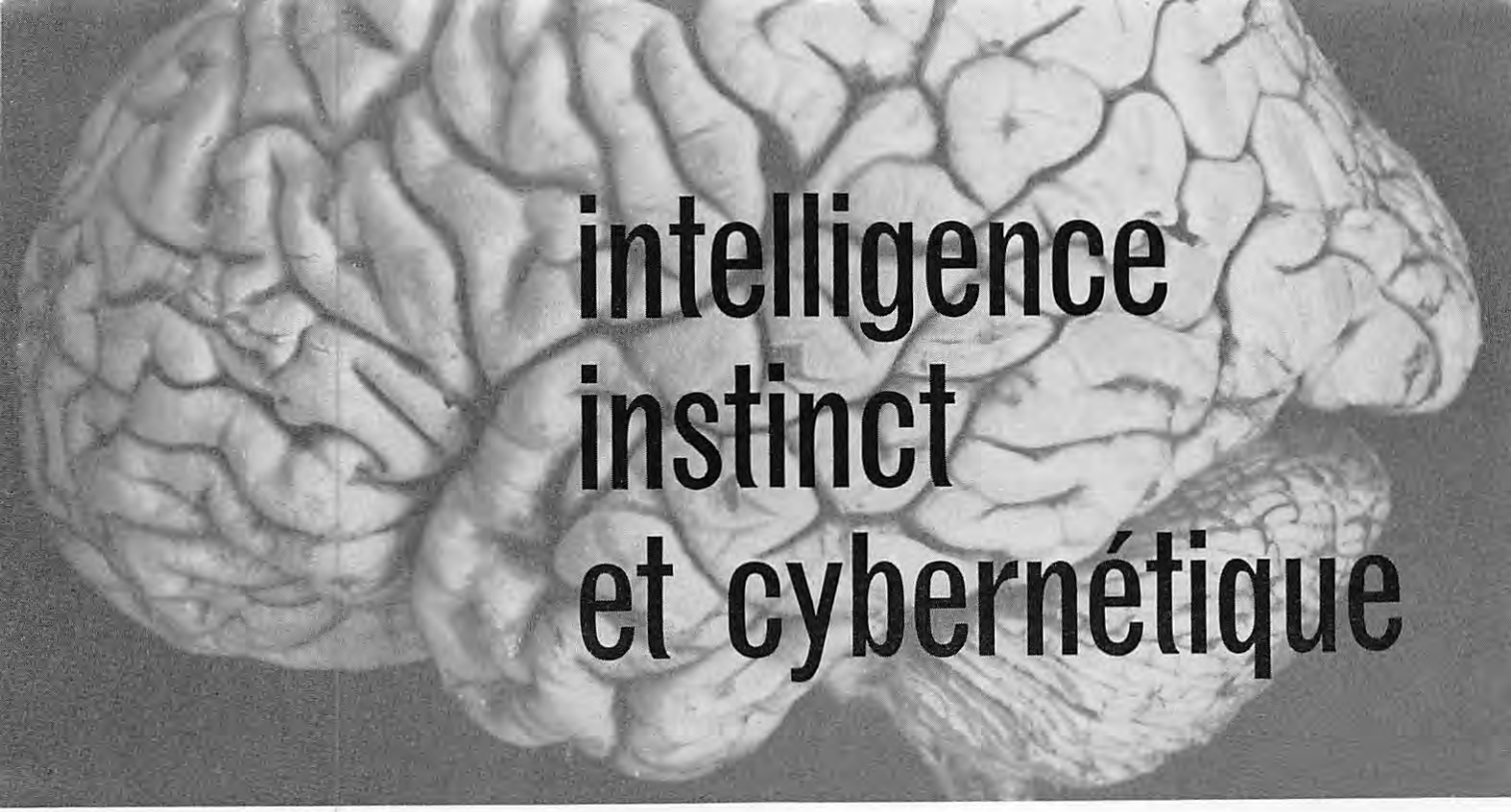
Les premiers qui osèrent cette étonnante entreprise ont pensé atteindre à l'essence de la vie par la synthèse de ses fonctions chimiques primordiales.

Des physiciens plus audacieux, plus cartésiens que pouvait l'être Descartes, mais suivant son fulgurant génie, tentent de reconstituer la vie en ce qu'elle a de plus complexe au contraire, de plus impondérable, de plus sublime, la pensée elle-même. Ils imaginent des mécanismes dont le comportement donne une image si saisissante de la vie que l'on se sent autorisé à espérer, sans être déraisonnable, voir construire un jour une machine capable d'accomplir avec plus de puissance, de précision, de rapidité, tout ce que l'animal exécute et produit naturellement, ce que le cerveau humain effectue avec lenteur et hésitation.

La cybernétique est sans doute l'une des novations la plus étonnante et l'une des plus fécondes dans le domaine de la biologie et dans celui de la psychologie.

Qu'en résultera-t-il pour l'apprenti sorcier humain, qu'en résultera-t-il pour l'humanité déjà désemparée devant l'accroissement prodigieux de sa puissance dont elle craint de perdre le contrôle, cette puissance qui l'obsède, qu'elle recherche et qui l'asservit, qui la séduit, dont elle s'énorgueillit et qui l'effraie à la fois ? L'évolution cependant est irréversible.

Paul BRIEN



intelligence instinct et cybernétique

Dr Léon ECTORS

Agrégé de l'Enseignement Supérieur
Chef du Service
de Chirurgie générale à l'Institut
Médico-chirurgical d'Etterbeek

L'intelligence

La peste décime le pays. Les planches et les pavés portent les morts. Le fermier tombe sur son champ. Les voleurs meurent, chargés de butin. L'un d'eux nargue le village du haut de la colline. Il sera riche et honoré.

Les cadavres ne reçoivent pas leurs tombes sacrées. Le courage et le dévouement les portent sur des chariots plats et les jettent dans la fosse commune.

Les prières montent au ciel. Les cloches appellent les désespérés à l'église. Ils y trouvent souvent la mort.

Des villages voisins quelques nouvelles diffusent. Deux communes n'ont plus que leurs murs inertes.

C'est l'angoisse, c'est le crime et le suicide. On se sauve pour mourir de faim ou de peur; on brûle, on se précipite dans la rivière, on sacrifie le bétail. Quelqu'un tue les rats, il appelle les voisins, ils les tuent avec lui. Il meurt mais l'élan est donné. Le rat est l'ennemi. On brûle les maisons et les granges. Le fagot enflammé vogue sur la rivière. On empoisonne, et les hommes victimes du poison sont nombreux. Mais la victoire est acquise, la peste est vaincue. Nos enfants sauront qu'il faut tuer les rats.

Telle est l'histoire d'un acte intellectuel.

Où donc placer l'origine de l'intelligence? Est-ce dans la peste ou dans le rat; dans la mort ou dans l'angoisse; dans la coopération sociale ou dans la découverte individuelle?

Pour qu'il y ait intelligence, il faut avant tout un problème et plus particulièrement un problème qui s'impose. Si le rhume était mortel, l'humanité aurait soit disparu comme les iguanodons, soit découvert le traitement du corryza.

Le problème contraint à réaliser des essais qui ne sont que des actes désordonnés. Les échecs et les erreurs sont nombreux.

L'intelligence se développe progressivement par application d'un essai plus ou moins fructueux. Sa reproduction fait apparaitre enfin une solution efficace. Elle sera retenue par les générations futures.

Mais l'intelligence est une fonction vitale qui ne réclame pas la conscience, ni même le système nerveux.

Choisissons un acte hautement adapté, qui n'est certainement ni cérébral, ni conscient : l'activité qui confère l'immunité. Après une période difficile caractérisée, en particulier, par de la fièvre, l'individu a vaincu la maladie. Il se souvient pour l'avenir des moyens mis en œuvre pour détruire un microbe, et ainsi lui résister sans refaire la maladie. Voilà un acte intelligent quoique inconscient et le plus souvent ignoré.

Le milieu inerte est énorme. La vie est représentée par des unités de vie.

Il est permis d'opposer une unité de vie à son milieu. L'action de la modification du milieu sur l'unité de vie amène une modification dans sa structure. Cette altération in-

fluence le milieu et en retour celui-ci modifie l'unité de vie nouvelle, plusieurs fois de suite, jusqu'à ce qu'un état stable correspondant à une structure anatomique modifiée s'établisse. Cet état nouveau est soit la mort, soit une unité de vie différente de la première, neutralisée ou adaptée au milieu, c'est-à-dire ayant fait preuve d'intelligence.

Cette conception correspond-t-elle à la réalité?

La bactériologie en donne la démonstration. Une inoculation de microbes représentant le milieu provoque de la température, de la leucocytose, des modifications successives de l'unité vivante jusqu'à la mort ou la guérison. Au moment de la guérison, la structure de l'unité vivante s'est modifiée, le corps vivant contient pour un temps prolongé, des anticorps. Cette évolution, adaptation progressive à l'élément nouveau, peut être transposée dans l'activité mentale, elle a toutes les caractéristiques de l'apprentissage.

Lorsque la nouvelle unité de vie adaptée est à nouveau soumise après des semaines, des mois ou des années au même milieu, il y a d'emblée neutralisation par les anticorps; en conséquence l'unité de vie est douée de mémoire. Cette mémoire retient les moyens mis en œuvre pour lutter contre les microbes et les détruire.

L'intelligence, l'apprentissage, la mémoire appartiennent à la vie.

Le système nerveux, le cerveau et le cortex cérébral développent au maximum ces facultés mentales et leur donnent le merveilleux essor que nous connaissons.

L'instinct

L'instinct est un mécanisme inné qui permet à l'individu vivant de réaliser une activité organisée et efficace dans un but déterminé. Il s'oppose à l'intelligence, à la pensée créatrice.

Cette définition doit satisfaire chacun, mais les opinions sont divergentes quant il s'agit de préciser la nature du but poursuivi : la conservation de la vie ou de l'espèce, l'amour (Freud) ou l'agressivité, la curiosité (Pavlov) ou la puissance (Adler), toutes les théories ont été défendues.

Nier l'instinct appartiendrait à la spéculation pure et cependant...

La génération spontanée est à la vie ce que l'instinct est au comportement, à l'activité constructive et à la pensée. L'Académie en 1860 soutenait Rouchet. De toute évidence si l'on trouve des millions de microbes quelques heures après avoir exposé des déchets organiques à l'air, c'est qu'il y a génération spontanée des bactéries, affirmait la docte assemblée. Pasteur a dû gravir les pentes de la mer de glace avec cent ballons de culture pour la convaincre de l'absence de génération spontanée des microbes.

Aujourd'hui, l'Académie continue à croire que le besoin inné de reproduire et le désir de vivre sont indispensables pour rendre compte du monde vivant.

Cependant, c'est le vent qui le plus souvent transporte le pollen et le dépose sur les pistils.

Quel est l'instinct de ce pigeon qui se laisse hypnotiser et prendre par le serpent?

Où est l'instinct de survie des oisons qui, séparés de leur mère à la sortie de l'œuf et élevés par un homme pendant quelques jours seulement, meurent de faim s'ils sont remis à l'oie maternelle et que l'homme ne s'en occupe plus?

Où est l'instinct dans l'expérience que voici :

La perruche mâle présente un point bleu à la naissance du bec; la perruche femelle présente, au contraire, un point brun au même endroit. Une perruche mâle occupe une cage depuis un certain temps. On y met une perruche femelle; elle est acceptée sans difficulté, mais la perruche accepte avec la même facilité une perruche mâle travestie en femelle, c'est-à-dire dont la tâche bleue a été peinte en brun, et elle rejette la perruche femelle travestie en mâle, exception faite pour sa propre femelle qui est acceptée, même travestie en mâle.

Que reste-t-il dans ces conditions de l'instinct sexuel?

Roesch a même démontré qu'on était capable de transformer des abeilles d'intérieur en abeilles butineuses. Il a pris toutes les abeilles d'intérieur d'une ruche, les a isolées et a constaté que la moitié d'entre elles devenaient, après peu de jours, butineuses, que des glandes atrophiées se reconstituent.

Louis Verlaine, au cours d'une

Aujourd'hui, l'Académie continue à croire que le besoin inné de reproduction et le désir de vivre sont indispensables pour rendre compte du monde vivant. Cependant, c'est le vent qui le plus souvent transporte le pollen et le dépose sur les pistils.

carrière trop brève mais combien féconde, à laquelle il convient de rendre hommage, a souligné les insuffisances et la trop grande exclusivité de la notion d'instinct. Par des expériences qui comptent parmi les plus ingénieuses de la psychologie comparée et qui eurent pour sujets les hyménoptères (guêpes et abeilles), les poissons, les oiseaux, les singes, le savant combattit l'usage du mot instinct qui prête à tant de confusion et entretient ce préjugé assez curieux de la distinction irréductible entre l'homme et les animaux. Il aurait voulu que l'on bannît du dictionnaire ce mot qui est cause d'erreurs et incline l'esprit à la paresse.

Pour comprendre le comportement de l'animal, le biologiste ne doit pas s'adresser à des animaux adultes pris dans la nature, chargés de tout un passé d'impressions multiples inscrites en leurs habitudes automatisées. Autant que possible, il interroge les organismes jeunes qui n'ont pas subi d'apprentissage, ni d'éducation.

Louis Verlaine prend des grives et des merles au nid, les soustrait au contact des parents et les élève au laboratoire. Dès octobre, alors que ces oiseaux sont adultes, ils sont mis en présence d'hélix. Les oiseaux n'en ont aucune connaissance et ne montrent d'abord aucun intérêt. La recherche des escargots, la préoccupation d'en casser la coquille pour les ingurgiter, ne sont donc pas innées. Cependant, après avoir observé longuement la limace rampante, ils se décident, les uns plus vite, les autres plus tardivement selon le degré de leur curiosité, à tâter du bec cette bête étrange. Ils en découvrent la sapidité au moment même où la proie se contracte et rentre dans sa coquille. Après des jours d'un intérêt croissant, l'oiseau a appris que celle-ci cache une nourriture agréable. Il se préoccupe, dès lors, des coquilles; les tient dans le bec par le péritosme; il cherche à en extraire le mollusque sans y parvenir ; les frotte contre les barres; les cogne, sans doute involontairement, contre des objets durs de la cage. Un jour la coquille se brise sans qu'il y ait eu peut-être aucune intention de la part de l'oiseau, mais celui-ci n'en découvre pas moins comment extraire la proie qu'il convoite. L'apprentissage est dès lors rapide. L'oiseau reconnaît bientôt, parmi les éléments de la cage, les plus efficaces pour briser la coquille. Cependant, certains individus ont trouvé une autre technique. En tapotant du bec au sommet de la coquille posée au fond de la cage, ils la crèvent et, par l'orifice perforé, retirent le mollusque.

En fait, un acte organisé est fruit de l'intelligence. L'animal n'est pas plus instinctif que l'homme, mais l'homme atteint un niveau intellectuel supérieur.

La réalisation répétée d'un acte organisé permet à l'individu de percevoir l'utilité de cette activité, un but apparaît, qui va devenir un état de besoin.

Bientôt plusieurs états de besoin se développent, ils peuvent être différents d'un individu à l'autre, ils peuvent même entrer en conflit chez un seul individu.

Le besoin de soleil, de beau, de curiosité, d'activité, de bien s'oppose souvent au besoin d'isolement, de domination, d'agressivité.

La caractéristique de l'organisme vivant, et plus particulièrement de l'homme, est de s'être créé des besoins.

La sélection naturelle élimine rapidement les espèces et les individus dont les besoins ne sont pas compatibles avec la survie, aussi n'est-il pas étonnant de trouver entre les états de besoin dits normaux, une similitude ou pour le moins une unité de mesure.

L'instinct inné n'est pas. Les moyens de faire apparaître une activité organisée dans des conditions appropriées sont seuls héréditaires.

L'enfant élevé par une mère louve acquièrt et conserve l'instinct de la louve.

Le 8 octobre 1920, le Révérend Singh découvre dans la forêt vierge aux environs de Godamury, village de huttes en boue situé à 100 kilomètres de Calcutta, une louve, des louveteaux et deux enfants : une fillette de 8 ans environ, une seconde de 3 ans.

Les enfants sont recueillis et placés sous la direction du Révérend Singh dans l'orphelinat de Midnapore.

Le Révérend Singh tient un journal détaillé de la vie des deux enfants. La seconde fillette ne survit qu'un an. La première, âgée de 8 ans, court et marche à quatre pattes sur les mains et les genoux. Elle circule la nuit, se maintient accroupie le jour contre un mur. Elle crie comme un loup. Elle lèche la nourriture, mange des insectes, montre les dents lorsque des enfants

▲

''L'instinct inné n'est pas'' (Dr Léon Ectors, page 7 du présent magazine). Ce bébé-singe semble vouloir étayer cette thèse...

... en se jetant dans le giron de sa ''mère artificielle'' faite de peluche et de fils de laiton. ▶

MONTAGE

◀

Dans l'hôpital, toutes les ressources de la technique sont désormais mises à profit.

la cybernétique et la machine humaine

Dr Henri LABORIT

Directeur du Centre d'Etudes expérimentales et cliniques de Physiobiologie, de Pharmacologie et d'Eutonologie de Paris, Prix Albert Lasker.

C'est à un groupe de mathématiciens et de physiologistes de l'université de Harvard que la cybernétique doit sa naissance : Wiener, Rosenblueth, Warren, McCulloch en furent les initiateurs. Puis von Neumann, Lorente de No et Goldstein vinrent compléter le groupe. Il n'est donc pas inexact de dire que c'est de la neurophysiologie confrontée à la physique mathématique qu'est née la cybernétique. Mais, très tôt attirés par les problèmes des mécanismes nerveux centraux, les cybernéticiens ont en grande partie délaissé l'application de leurs concepts à la physiologie et à la biologie générale ainsi qu'aux régulations organiques. L'électrogénèse nerveuse rapprochant le système nerveux d'un calculateur électronique, les bases biochimiques fondamentales retinrent moins leur attention que l'aspect purement neurophysiologique du fonctionnement nerveux central.

Depuis cette époque, d'innombrables dynamismes biologiques et physiologiques mettant en jeu un système rétro-actif ont été décrits, si bien qu'il ne peut plus être ignoré de personne que la vie fonctionne cybernétiquement. Mais ce travail d'analyse ne sera sans doute jamais terminé, car les régulations cybernétiques sont plus nombreuses que les molécules mêmes qui concourent à la construction d'un organisme vivant. Il a d'autre part un inconvénient. Celui de focaliser l'attention sur une relation entre des éléments isolés d'un ensemble, alors que la recherche des structures dynamiques est celle de *l'ensemble* des relations existant entre les éléments d'un ensemble. Il comprend évidemment les relations existant entre les sous-ensembles et les parties et conduit à la recherche des niveaux d'organisation, à tel point qu'il ne peut même plus se limiter à l'individu. Celui-ci ne peut être envisagé que comme un élément d'ensembles plus grands, groupe social, ethnique, humain, entre lesquels règnent également des mécanismes régulateurs dont la modalité d'action est aussi la cybernétique.

Bien qu'ayant, il y a quelques années, rédigé un précis de physiologie humaine en présentant celle-ci dans le détail de ses régulations sous la forme cybernétique, le sujet se présente sous des aspects si multiples et variés que nous ne pouvons espérer en fournir ici qu'une vue superficielle et limitée. Nous n'en aborderons que le cadre conceptuel général en tentant de trouver une finalité aux régulations physiologiques, c'est-à-dire un but à l'action des effecteurs physiologiques.

Si la cybernétique, suivant l'heureuse expression de L. Couffignal, est ''l'art de rendre efficace l'action'', nous verrons qu'il est possible d'affirmer que l'action essentielle des formes vivantes, à quelque degré de complexité où on les envisage, est de maintenir leur structure dans l'environnement inanimé. Le maintien d'une structure, c'est-à-dire d'un certain ordre, dans un milieu moins organisé, moins ordonné, nécessite un apport d'énergie. C'est évidemment l'énergie photonique solaire qui est non seulement la source de l'organisation des formes vivantes, mais aussi le facteur de leur maintien.

Cybernétique et évolution

Il n'est pas interdit de penser en effet, que dans un système soumis au deuxième principe de la thermodynamique, tendant vers une entropie maxima, vers le désordre, l'apport d'une énergie extérieure au système telle que l'énergie solaire, augmente les chances de collision des particules matérielles, et de ce fait les chances de ''complexification''. Mais celle-ci ne peut se poursuivre semble-t-il, indéfiniment, car c'est par la surface que se réalisent les échanges et ''le plus complexe'' ne peut être élaboré qu'à partir du moins complexe qui l'entoure. Ainsi, plus le corps complexifié augmente de volume, plus ses échanges seront faibles par rapport au volume. C'est ce qui distingue la matière vivante du cristal qui s'accroît en surface et en volume, non en complexité. La matière complexifiée est donc contrainte à se fragmenter. Elle le fait au stade de la molécule, puis de la cellule, car la cellule ne pouvant évoluer sur elle-même, s'associe à d'autres cellules pour donner naissance à des êtres pluri-cellulaires.

C'est ce que l'on peut appeler une complexification autorégulée entrant dans le cadre des mécanismes à rétroaction, puisque l'accroissement de volume agit négativement sur l'accroissement de la surface, lequel règle l'intensité des échanges, donc l'accroissement du volume.

Toute l'évolution de la vie sur notre globe, avant et à partir de la photosynthèse, a été "régulée" par rétroactions entre ses structures plus ordonnées et celles moins ordonnées de l'environnement matériel. L'apparition de la photosynthèse fut à l'origine de l'apparition de l'oxygène moléculaire dans notre atmosphère jusqu'alors fortement réductrice, apte aux synthèses et essentiellement favorable à l'explosion de la vie. Mais dans les couches supérieures de notre atmosphère, l'ozone filtra dès lors les rayons ultraviolets solaires permettant que l'ordre vivant progresse, à l'abri de leur énergie trop intense, non plus en masse mais en complexité. L'effecteur "vie" agissait encore sur des facteurs environnementaux par une rétroaction négative. Et de nos jours l'homme transforme sans cesse son environnement matériel qui, en retour, le transforme aussi. Nous en verrons plus loin les dernières conséquences.

Cybernétique et maintien des structures vivantes

Si c'est une dynamique cybernétique qui a présidé à la naissance de la vie, puis à son évolution, ce sont encore des mécanismes du même ordre qui en assurent le maintien, tant à l'échelon planétaire des espèces animales ou des groupes humains, qu'à celui de l'individu. Un être vivant n'est pas constitué d'autres éléments que la matière inanimée. Sans doute se combinent-ils suivant un ordre particulier réalisé autour de l'atome de carbone, dont un électron μ délocalisé a permis vraisemblablement des combinaisons plus faciles et plus nombreuses. Mais la matière vivante est soumise aussi au deuxième principe de la thermodynamique. Elle tend constamment vers le désordre, vers le nivellement thermodynamique. Si elle peut maintenir sa structure complexe, c'est grâce à un apport constant d'énergie chimique fournie par les aliments, énergie alimentaire qui n'est elle-même rien d'autre que le résultat de la transformation de l'énergie photonique solaire par la photosynthèse. Or, dans le maintien de cette structure, les régulations cybernétiques règnent à tous les échelons d'organisation, depuis la molécule jusqu'à l'individu entier plongé dans son environnement.

On a pu dire que la vie faisait de la négentropie, s'opposait au principe de Carnot. La construction de matière vivante (l'anabolisme) semble en effet s'opposer au nivellement thermodynamique. La vie fait de l'ordre à partir du désordre du monde inanimé. Mais il faut ajouter qu'elle le fait généralement en favorisant par ailleurs le désordre, puisqu'une telle construction ne se réalise le plus souvent que par la destruction (catabolisme) des molécules déjà hautement organisées que lui fournit la photosynthèse. Ce dernier processus paraît être le seul véritablement constructif à l'échelle de notre globe. Encore cette construction se réalise-t-elle aux dépens de l'entropie solaire.

Cybernétique et réaction enzymatique

La cybernétique apparaît dès la réaction enzymatique. On sait, en effet, que les réactions biochimiques se distinguent des réactions chimiques par la faible énergie d'activation qu'elles nécessitent. Ceci est rendu possible par l'existence d'enzymes, molécules protéiques qui, s'interposant entre deux molécules stables, permettent le passage de l'une (le substrat) à l'autre (le produit de la réaction) d'un électron à la fois. Le substrat est donc ainsi oxydé (il perd un électron) et le produit se trouve réduit (il gagne un électron). Mais comme une réaction enzymatique se trouve généralement précédée d'une autre réaction pour laquelle ce que nous avons dit être le substrat de la première se trouve être le produit de la réaction pour la seconde, on imagine que les électrons vont transiter dans la matière vivante, arrachés primitivement aux substrats alimentaires (glucides, lipides, protides) pour aboutir finalement à l'*oxygène* (le plus souvent) qui les accepte. Il s'agit de processus en chaîne

d'oxydo-réduction d'un système ouvert dans lequel la matière pénètre sous une forme complexe (les aliments) et sort sous une forme dégradée. Entre-temps elle a abandonné une certaine quantité d'énergie que lui avait confiée le photon solaire, et cette énergie a été mise en réserve, dans les composés phosphorés riches en énergie, au sein de la cellule. Cette mise en réserve se réalise par de multiples petites étapes successives et non brutalement comme dans une combustion explosive.

Un tel système est incapable de s'adapter aux variations quelque peu importantes survenant dans les caractéristiques du milieu, et si la vie n'était soumise qu'à des régulations de ce type elle aurait été incapable non seulement d'évoluer, mais même de se maintenir dans l'ambiance terrestre, cependant déjà fortement homéostasiée.

Or, on peut dire que les mécanismes métaboliques dont nous venons de schématiser l'ordonnance générale servent essentiellement à capter l'énergie d'excitation des électrons des molécules d'hydrogène contenues dans les substrats alimentaires, pour la mettre en réserve dans des molécules chimiques dont elle sera facilement libérée, les composés phosphorés riches en énergie (ATP). Cette énergie subviendra ensuite à tous les besoins vitaux : maintien de la structure moléculaire et organique, libération d'énergie mécanique ou nerveuse, libération de chaleur permettant la constance de l'activité des réactions enzymatiques, construction de matière vivante (anabolisme).

Mais l'orientation et l'intensité de ces différentes activités, dont le résultat est en définitive l'adaptation de l'individu au milieu environnant, sont commandées par les variations survenant dans ce milieu lui-même.

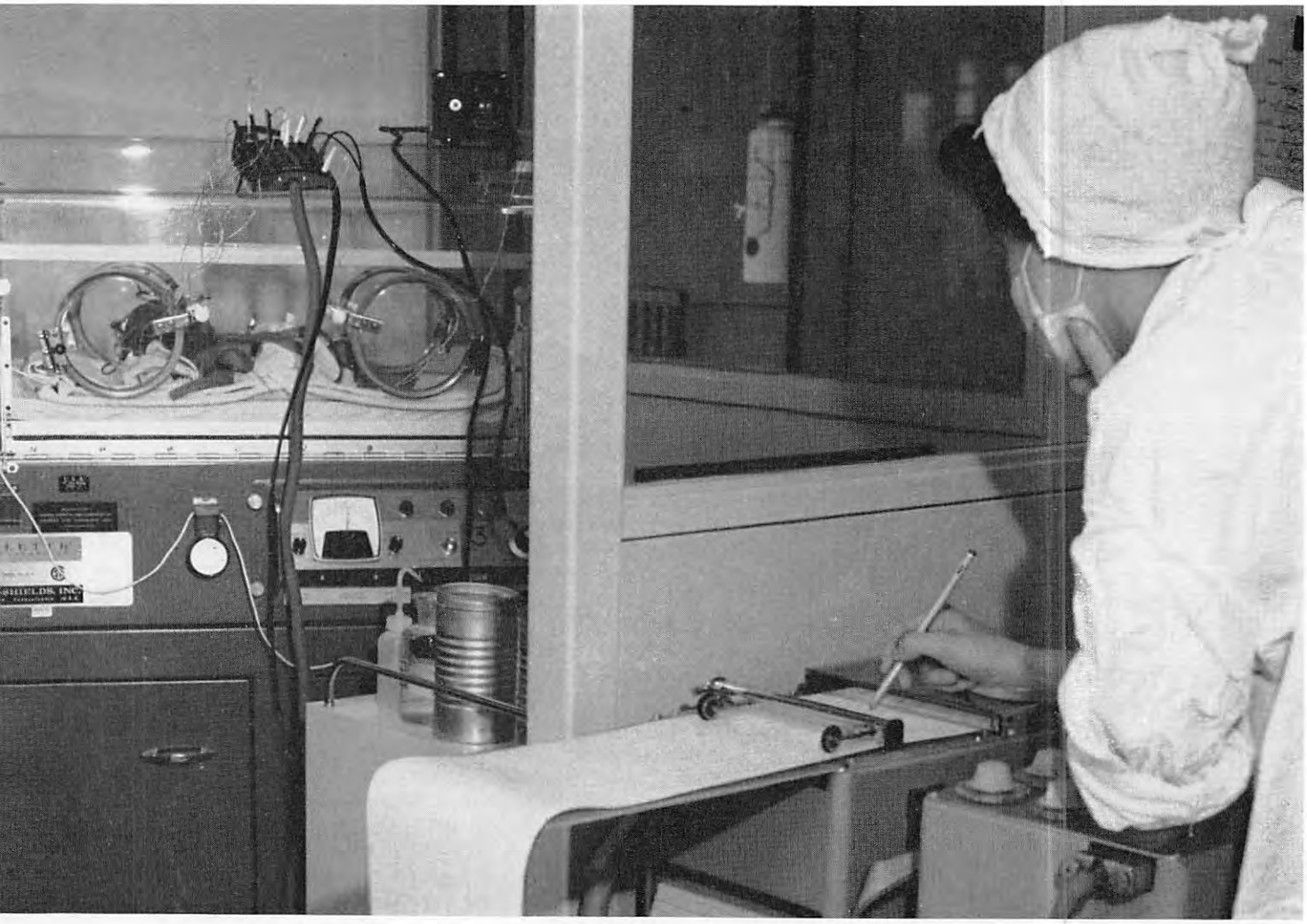
Celles-ci ne se feront pas généralement sentir directement à l'échelon métabolique, mais ressenties par l'individu dans son ensemble, elles se répercuteront aux différents échelons d'organisation, celui des systèmes et des tissus (nerveux, endocriniens, vasculaires, musculaires), celui des cellules qui les constituent, avant d'atteindre l'organisation infracellulaire, puis moléculaire. Il résulte de cet enchaînement deux conséquences essentielles.

La première est que, en définitive, à l'échelon moléculaire, celui des réactions enzymatiques, ce sont les variations survenues dans l'environnement qui régleront l'intensité même de ces réactions par l'utilisation plus ou moins brutale d'ATP qu'elles vont exiger. En effet, la réaction de l'individu sera la fuite ou la lutte, engageant une dépense supplémentaire d'énergie chimique antérieurement stockée sous forme d'ATP. Mais cette réaction va s'opposer à la variation survenue dans l'environnement, puisque la fuite soustraira l'organisme à cette variation, tandis que la lutte la fera disparaître et rétablira des conditions de vie normale. Régulation cybernétique encore à l'échelon de l'individu dans le milieu qui l'entoure, l'action de l'effecteur vivant contrôlant le ou les facteurs de l'environnement qui l'ont provoquée. Nous venons, en exprimant cette idée, de passer d'une discipline à une autre : de ce qu'il est convenu d'appeler la biologie à ce qu'il est convenu d'appeler la physiologie.

La deuxième conséquence est de nous entraîner alors à la conception du servo-mécanisme. Jusqu'ici, les mécanismes du feed-back que nous avons envisagés à l'échelon moléculaire n'avaient comme résultat que de maintenir la constance des valeurs de l'effet de ''l'effecteur-réaction enzymatique''. Or, nous venons de voir qu'entre l'environnement et ces réactions enzymatiques s'interposaient des niveaux d'organisation de plus en plus complexes (cellules, tissus, systèmes) jusqu'à la composition de l'organisme entier. Chacun de ces niveaux d'organisation va tenir sous sa dépendance le niveau immédiatement ''sous-jacent'' de même qu'il sera lui aussi sous la dépendance du niveau d'organisation immédiatement supérieur. L'effet de chacun d'eux verra sa valeur dépendre d'une valeur dite de commande extérieure au système et intervenant sur la boucle rétro-active. Dans la régulation l'effet est garanti par le feedback contre les variations de ses facteurs. Dans le servomécanisme il demeure sensible à ce qui peut affecter le feedback lui-même. Si l'on fixe la commande d'un servomécanisme on obtient un régulateur. Si nous la libérons, nous avons un servo-mécanisme. Chaque niveau d'organisation dans un organisme vivant est relié au niveau immédiatement supérieur par une commande intervenant sur la boucle rétro-active. Il s'agit donc bien d'une chaîne de servo-mécanismes.

Prenons un exemple en le simplifiant. La contraction d'un muscle strié dépend de ses processus métaboliques aboutissant à la synthèse d'ATP. Cet ATP fournit l'énergie indispensable à la contraction musculaire. Si l'organisme a besoin de fuir ou de lutter du fait de l'apparition d'une variation des conditions de vie dans l'environnement, il le fera grâce à sa mobilité dans le milieu, rendue possible par la contraction de ses muscles striés. Cette contraction dépensera l'ATP mis en réserve par son métabolisme, dont l'intensité va croître. Cet accroissement rétablira les réserves appauvries momentanément par les dépenses nécessitées par la fuite ou la lutte. Dans cette succession d'événements, la variation survenue dans l'environnement aura déclenché une réponse nerveuse, qui elle-même aura déclenché la réponse métabolique. Chaque niveau d'organisation aura réagi sur le suivant en intervenant sur le régulateur qu'il représente, par une commande des caractéristiques de réglage de la boucle rétro-active. Et l'on peut dire que la contraction musculaire, si elle rétablit dans l'environnement des conditions de vie normales pour l'organisme, aura fermé la boucle sur l'environnement lui-même.

Cette notion nous amène à considérer que la finalité de chaque élément différencié de la matière vivante coïncide avec celle de l'organisme entier. Mais aussi que chaque action spécifique d'une structure, moléculaire, infracellulaire, cellulaire, d'un tissu, d'un organe, a pour but le maintien de l'équilibre de chaque élément considéré, vis-à-vis de son environnement immédiat, mais au ''moyen'' du maintien de l'équilibre de l'organisme entier. Le but d'un fil de cuivre dans un circuit électrique peut être de conduire le courant. S'il est séparé de la source d'énergie il n'en demeure pas moins fil de cuivre, sa structure ne varie pas, bien que sa finalité ait disparu. Un organisme vivant par contre, qui ne réalise plus sa finalité, est un cadavre. Sa structure disparaît avec la disparition de l'action finalisée. La finalité de celle-ci paraît donc bien être le maintien de sa structure.



Nous venons, assez maladroitement sans doute, de fournir une idée des mécanismes cybernétiques au niveau d'organisation moléculaire en montrant leur mode de liaison avec les autres niveaux d'organisation plus complexes. On peut schématiser encore en disant que la *matière* organique s'organise autour de la molécule de carbone grâce à l'électron μ de celui-ci, mais que *l'énergie* biologique s'organise autour de la molécule d'hydrogène. C'est elle qui constitue le réservoir où s'emmagasine l'énergie photonique solaire et nous pouvons considérer les substrats alimentaires comme des moyens de transport de ces molécules d'hydrogène jusqu'au lieu de leur utilisation énergétique, la cellule. La mécanique métabolique se comprend ainsi comme un *concasseur* de molécules organiques libérant la molécule d'hydrogène, comme un *transformateur* de l'énergie d'excitation de cette dernière en énergie chimique (synthèse de l'ATP) et comme un *transformateur* de cette dernière en travail et chaleur lui permettant d'agir sur l'environnement.

Cybernétique et synthèse organique

Cependant, pour conserver à l'organisme une certaine autonomie par rapport à l'environnement, un certain rayon d'action, l'ATP, énergie immédiatement utilisable, ne constitue pas une réserve suffisante. D'autre part, l'organisme doit continuellement reconstruire une structure tendant naturellement au nivellement. Nous avons déjà signalé que construire c'est réduire : la molécule d'hydrogène est le ciment indispensable à la cohésion de tous les éléments entrant dans la consti-

L'instrumentation médicale fournit aujourd'hui au praticien les données qui lui permettent d'agir avec une efficacité jamais atteinte dans le passé.
Ces photographies montrent une installation de surveillance du fonctionnement du cerveau dans le service des prématurés du prof. Minkowski.

tution de la molécule vivante. Or, la succession de réactions enzymatiques à laquelle nous nous sommes jusqu'ici intéressés est une voie oxydative, catabolisante, libératrice d'énergie, puisque la mise en réserve de cette énergie dans la molécule d'ATP est limitée et immédiatement utilisable, essentiellement labile. Une autre voie est nécessaire pour construire, pour mettre en réserve les matériaux essentiels à cette construction (carbone : les briques, hydrogène : le ciment). C'est une autre voie métabolique, en d'autres termes une autre succession de réactions enzymatiques, qui s'en charge. A l'extrémité de celle-ci, pas d'oxygène, pas de synthèse d'ATP. Mais mise en réserve de sucres à cinq atomes de carbone (pentoses) et de la molécule d'hydrogène sur un coenzyme (NADP qui, réduit, devient $NADPH_2$). A partir de là, toutes les constructions seront possibles, celle des graisses, véritable stock énergétique de réserve, des molécules hormonales; possible la réparation de l'usure métabolique et surtout la construction des moules spécifiques nécessaires à la synthèse des protéines, donc des enzymes, grâce à la synthèse des acides nucléiques. Cette voie, c'est la voie dite ''des pentoses''. Mais la même molécule de glucose phosphorylée (le glucose 6-phosphate) étant à l'origine de cette voie comme de la précédente, on conçoit que l'activité de l'une inhibera celle de l'autre et une régulation en constance apparaît là encore. La voie libératrice d'énergie, la première dont nous avons fait mention, sera mise en jeu par les variations survenant dans l'environnement puisque ces variations vont déclencher l'utilisation de l'ATP et des stocks énergétiques de réserve (glycogène et graisses en particulier). Le glucose 6-phosphate sera détourné de son utilisation dans la voie des pentoses. Mais, à la suite d'un mécanisme que nous ne pouvons nous permettre de décrire ici, il en résultera après un certain hysteresis (dont l'expression physiologique limite est pour nous ce qu'il est convenu d'appeler la ''fatigue''), une mise en jeu de la voie des pentoses reconstituant les réserves et soustrayant le glucose 6-phosphate à la voie libératrice d'énergie, la voie ''exergonique''. Cette régulation balancée entre l'utilisation différente des substrats alimentaires se fera sentir à tous les niveaux d'organisation signalés précédemment. A celui de la cellule le potentiel de membrane variera de façon oscillante. A la dépolarisation contemporaine de la libération énergétique succédera une repolarisation, contemporaine de la reconstitution du potentiel redox primitif, autrement dit de la charge cellulaire en électrons et en molécules d'H_2. Les organes et systèmes passeront ainsi par des étapes fonctionnelles alternées de travail et de repos, et l'individu lui-même verra son comportement à l'égard de l'environnement alterner les phases d'éveil et de sommeil, chacune d'elle conditionnant l'apparition de l'autre. Mais cette activité fonctionnelle alternée que l'on peut suivre depuis l'activité enzymatique jusqu'au comportement est sous la dépendance du fonctionnement de ce que nous avons appelé les servo-mécanismes.

Systèmes d'interactions

Parmi les moyens d'information existant entre les différents niveaux d'organisation, en d'autres termes parmi les systèmes de commande des servo-mécanismes, le système nerveux et le système endocrinien prennent une place de choix. C'est parce qu'une variation survient dans l'environnement, à laquelle l'individu doit s'adapter, que ces deux systèmes, sensibles à ces variations, vont répercuter sur l'activité métabolique, c'est-à-dire l'intensité et l'orientation des réactions enzymatiques, une commande destinée à modifier le comportement fonctionnel de la cellule, donc des organes, dont il résultera en définitive un comportement approprié de l'individu entier, susceptible de transformer l'environnement au mieux de sa survie.

Par exemple, si une variation quelque peu importante et brutale survient dans l'environnement, elle exigera un accroissement de sa libération énergétique pour assurer sa survie, puisque celle-ci n'est possible que par la fuite ou la lutte sous toutes ses formes plus ou moins apparentes et dégradées. Par la fuite ou la lutte seront rétablies les conditions favorables aux régulations harmonieuses entre indi-

L'autonomie motrice permet le maintien de l'intégrité de l'être vivant, malgré les variations soudaines du milieu. Elle est assurée par un processus très complexe, dont la nature est essentiellement cybernétique.

vidu et environnement. Le système nerveux alerté, alertant lui-même le système endocrinien, il en résulte une activation de la voie énergétique lui permettant l'accomplissement d'un certain travail et une libération de chaleur. Cela se fera par une sécrétion d'adrénaline, de thyroxine, de corticoïdes surrénaux, qui accéléreront le fonctionnement de la voie exergonique. Grâce à cette activation, les centres sont tenus en éveil, leur excitabilité augmente, les muscles se contractent permettant d'assurer l'autonomie motrice de l'individu au sein du milieu. Cela n'est possible que si systèmes nerveux et neuro-musculaire sont suffisamment alimentés et oxygénés, puisque l'oxygène est l'accepteur privilégié des électrons ayant cédé leur énergie d'excitation en vue de la synthèse d'ATP. La masse sanguine subit alors une nouvelle répartition; certains organes non immédiatement indispensables à la fuite ou à la lutte sont le siège d'une diminution de calibre des vaisseaux qui les irriguent (vasoconstriction), une plus grande masse de sang circulera en conséquence dans les organes indispensables à l'autonomie motrice. Ce sang circulera plus vite du fait de l'accélération du rythme cardiaque et de l'accroissement du rythme de la ventilation, etc... C'est en définitive grâce à cette libération énergétique accrue de certains organes, que l'individu pourra en retour agir sur l'environnement qui a été à l'origine de sa réaction.

Nous venons d'envisager là, de façon très schématique, une régulation du comportement de l'individu dans le milieu, qui entraîne une série de régulations en chaîne avec leurs conséquences à l'échelon moléculaire du métabolisme, lequel en retour supporte toute la réaction de l'individu à l'environnement. L'autonomie motrice qui en résulte permet le maintien de l'intégrité des structures complexes de l'être vivant, malgré les variations soudaines des caractéristiques du milieu. Elle ne sera elle-même réalisable que grâce aux régulation internes qui, nous venons de le voir, permettent un approvisionnement cellulaire préférentiel en molécules d'H_2 à certains organes et l'excrétion des ions H^* libérés par le métabolisme énergétique, au gré de ses variations d'intensité.

Cybernétique et régulation entre cellules et milieu intérieur

La colonie cellulaire que représente un organisme supérieur ne prend contact avec l'environnement que par une surface restreinte. La majorité des cellules en sont séparées par un matelas aqueux, équivalent de l'océan primitif où baignaient nos lointains ancêtres, et dont ils semblent avoir emporté un fragment avec eux en passant de la vie aquatique à la vie aérienne. C'est par l'intermédiaire de ce milieu intérieur que se fait leur approvisionnement en substrats énergétiques et c'est lui qui recevra les produits de déchets de leur métabolisme. L'alimentation, la digestion, l'absorption intestinale assureront l'approvisionnement en substrats lipidiques, glucidiques et protéiques. Nous avons vu que, quel que soit le substrat utilisé, le fonctionnement métabolique cellulaire consiste en leur déshydrogénation et en l'ionisation des molécules d'H_2 qui permet la mise en réserve de l'énergie liée à l'électron.

Les ions H^* continuellement déversés dans le milieu extracellulaire risqueraient d'en abaisser rapidement le pH si un brassage et une mobilisation continuelle de ce liquide, dont le sang constitue la partie la plus mobile, ne portaient ces ions H^* aux émonctoires, poumons et reins, où ils seront excrétés.

Le système cardio-vasculaire avec sa pompe cardiaque assurera cette mobilisation. La dilatation des vaisseaux d'un organe au travail lui assure à la fois un meilleur approvisionnement en substrats (molécules d'H_2) et en O_2 accapteurs des électrons libérés par l'ionisation métabolique accrue de ces mêmes molécules. Il existe là une régulation locale en constance du métabolisme d'un organe sur le calibre des vaisseaux qui l'irriguent, l'abaissement du pH extracellulaire provoqué par l'accroissement de l'intensité métabolique assurant le relâchement des muscles lisses des vaisseaux. La masse sanguine subira une nouvelle répartition, les vaisseaux d'autres organes diminueront de calibre, ainsi la pression de perfusion restera la même. Cette régulation se fera grâce à ces organes sensibles aux variations de la pression artérielle situés en des zones privilégiées du système vasculaire,

La lionne part en chasse sous l'empire de la faim, tout comme la tortue électronique cherche d'elle-même les niches où elle peut recharger ses accumulateurs quand leur ''tension'' faiblit. Dans chaque cas il s'agit d'un organisme qui tire parti des ressources du milieu extérieur pour se maintenir en équilibre dans ce milieu. C'est sur de pareilles analogies que la cybernétique s'appuie pour expliquer certains comportements de la matière vivante.

en particulier au niveau des carotides (sinus carotidiens) car la pression de perfusion du cerveau est celle qui demeure la plus stable et la mieux protégée. Toute diminution de la pression artérielle provoquera ainsi un réflexe dont la conséquence sera une libération d'adrénaline par les surrénales, entraînant une vaso-constriction réactionnelle.

La pression artérielle est donc régulée par la valeur même de la pression artérielle. Mais là encore ce régulateur devient un servo-mécanisme par une commande extérieure au système qui consiste dans les variations du pH du milieu intérieur, alertant des zones chémosensibles. Ainsi, avec l'augmentation du travail métabolique des cellules libérant une plus grande quantité d'ions H*, et la chute du pH qui en résulte, des réflexes seront mis en jeu. Ils provoqueront une accélération du rythme cardiaque assurant une mobilisation plus rapide de la masse circulante et une accélération de la ventilation qui par l'excrétion accrue de $CO_2 + H_2O$ permettra un contrôle rapide de la constance du pH.

Régulateur et servo-mécanisme sont en effet retrouvés au niveau de l'appareil ventilatoire : un régulateur, car un réflexe passant par la voie du pneumogastrique (réflexe d'Hering-Breuer), véritable rétroaction négative, assure l'inhibition du centre inspiratoire dès que l'amplitude inspiratoire atteint un certain seuil, provoquant alors l'expiration. Mais ce régulateur devient un servo-mécanisme, si l'on considère que l'excitabilité du centre inspiratoire résulte de la concentration en CO_3H_2 du milieu intérieur, elle-même liée à l'intensité du fonctionnement métabolique cellulaire.

On voit ainsi que l'intensité des processus métaboliques libérateurs d'ions Hydrogène règle elle-même l'intensité et la rapidité de la mobilisation et de l'excrétion de ces ions H*, de telle sorte que le pH du milieu extracellulaire demeure constant.

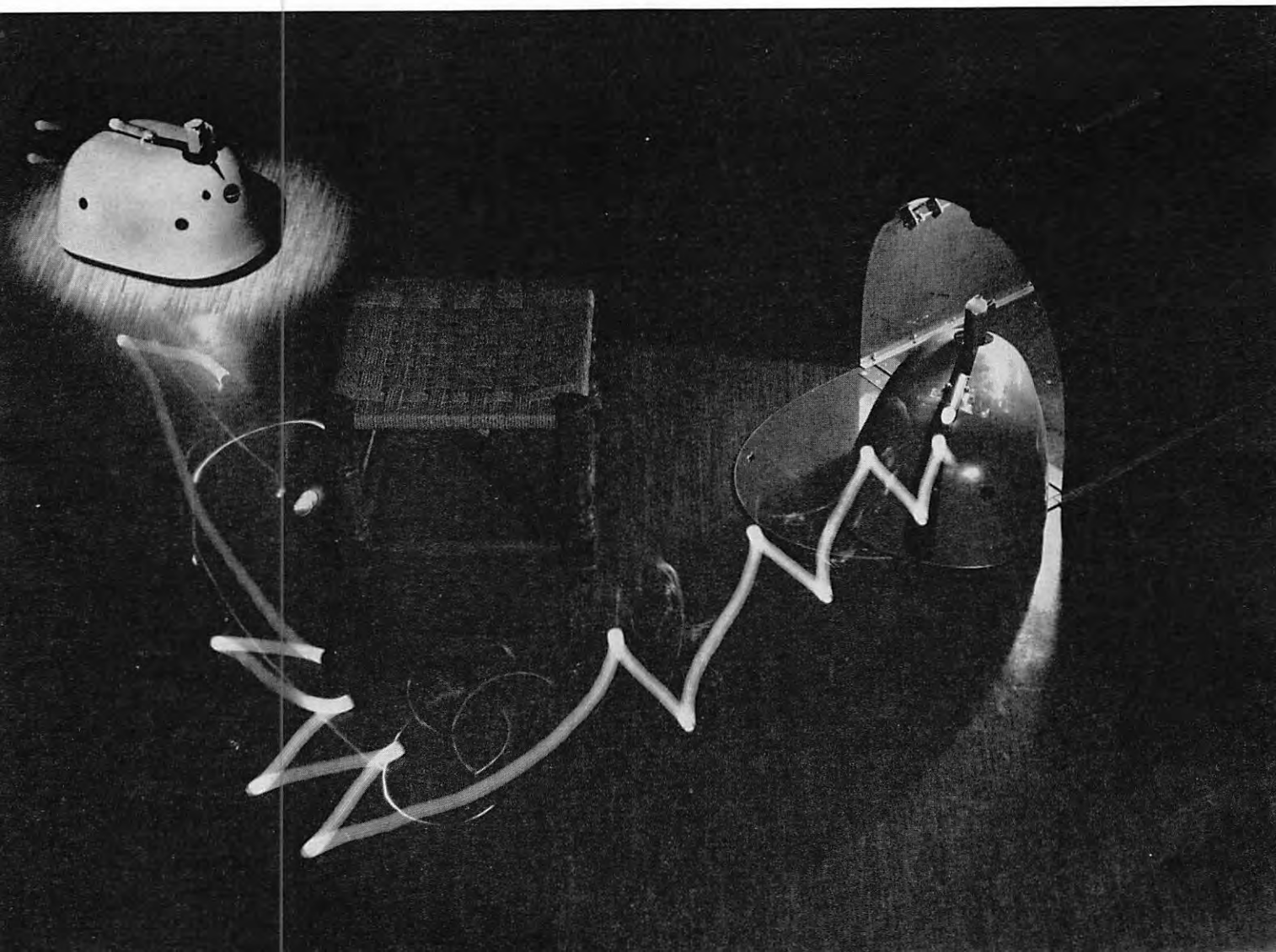
Nous pourrions envisager de la même façon la régulation de l'émonctoire rénal qui se charge surtout de l'excrétion des ions Hydrogène liés à des acides plus fixes que ne l'est le CO_3H_2, acide faible et peu dissocié. De la même façon, l'approvisionnement cellulaire en molécules d'H_2 est assuré, en particulier par la régulation de la glycémie. Il nous suffira d'indiquer qu'à partir des réserves hépatiques en glycogène, des mécanismes libèreront du glucose, suivant les besoins du métabolisme cellulaire. Les régulations se feront là encore par l'inter-

médiaire des systèmes nerveux et endocriniens. Mais la commande se faisant en réponse aux variations de l'environnement, le système doit être considéré aussi comme un servo-mécanisme.

Ainsi, il ressort avant tout de la description succincte que nous avons faite des principales régulations physio-biologiques, qu'à tous les niveaux d'observation ces régulations tendent au maintien de la constance des caractéristiques du milieu qui entoure l'élément considéré. L'organisme entier tend à stabiliser son environnement, la cellule à stabiliser le sien, le milieu intérieur, et elle le fera d'autant mieux que la colonie cellulaire, avec la constance de son milieu intérieur, possède alors une autonomie motrice capable de mieux contrôler l'environnement de l'organisme entier. Pour ne prendre qu'un exemple chez l'homme, le vêtement, l'habitation et les moyens de chauffage qui résultent de l'action de l'homme sur l'environnement, maintiennent la constance du pH de notre milieu intérieur aux moindres frais énergétiques cellulaires puisqu'ils évitent le frisson, et la production cellulaire de chaleur obtenue au prix d'une consommation désordonnée d'hydrates de carbone et de graisses et pouvant aboutir à l'épuisement cellulaire et à la mort.

La physio-pathologie

Malgré la difficulté que l'on éprouve à définir la ''maladie'' et ses limites, l'observation des faits nous conduit à la considérer comme un état anormal. De là à en déduire qu'elle est liée au dérèglement des régulations que nous venons de décrire, il n'y a qu'un pas. Cepen-



dant, une critique plus attentive des faits physio-pathologiques nous conduit à leur trouver une régulation, mais une régulation dans laquelle, alors que la finalité de l'organisme vivant n'a pas changé, les moyens qu'il utilise pour la réaliser se sont transformés. Il y a eu changement de programme.

Nous avons déjà indiqué qu'à notre avis la finalité d'un être vivant était le maintien de sa structure complexe dans un environnement moins complexifié. Or, la simple excitation, c'est-à-dire le seul fait pour lui de subir l'apport d'une énergie extérieure sous une forme autre que celle élaborée des substrats, constitue déjà une tendance au nivellement thermodynamique, et l'on constate une déstructuration des protéines par rupture des liaisons hydrogène : déstructuration réversible dans l'excitation, alors que dans l'irritation et la mort elle est irréversible. C'est entre les deux que se situe l'état physio-pathologique, la "maladie", mais il est bien difficile d'en définir les frontières, car à notre avis ce sont des *frontières temporelles*.

A l'échelon cellulaire nous avons succinctement schématisé plus haut les processus métaboliques oscillants qui, extériorisés par les variations du potentiel de membrane, permettent à l'être unicellulaire de maintenir son autonomie dans le milieu environnant. Nous avons signalé que ces variations oscillantes du potentiel de membrane se situaient à l'échelle de temps de la milliseconde. Toute variation qui tend à se stabiliser ou à utiliser une période plus longue peut être alors considérée comme pathologique. S'il est alors possible de définir peut-être une frontière temporelle entre physiologique et pathologique, les variations qui mèneront du pathologique à la mort sont si progressives qu'il est par contre pratiquement impossible d'envisager actuellement une limite entre ces deux derniers états, alors que le rôle du biologiste est justement de tenter de faire reculer le second à l'avantage du premier.

A l'échelle des êtres pluricellulaires et particulièrement des homéothermes, la limite entre physiologique et pathologique est pareillement temporelle. La réaction stable aux variations de l'environnement en est la plus limpide expression.

Cette réaction que nous venons d'étudier rend possible la fuite ou la lutte. L'homéostasie, que l'on a restreinte depuis Cannon au maintien de la constance des caractéristiques du milieu intérieur, est alors gravement perturbée, comme l'objectivent par exemple l'abaissement du pH, l'hypoglycémie, l'hypercoagulabilité, l'hyper-adrénalinémie, etc... Les organes hypovascularisés vont souffrir. Mais la fuite ou la lutte rendues possibles permettront, en supprimant ou évitant l'agent d'agression, le retour à l'équilibre physiologique normal. La finalité de l'organisme, à savoir le maintien de ses structures, sera donc observée. *Mais à une condition, c'est que la réaction à l'agression soit efficace*. Car si elle dure, la mort des organes momentanément sacrifiés sera cause de la mort de l'organisme entier.

Là encore nous constatons que les réactions oscillantes passent du physiologique au pathologique dès que s'installe un état stable. Les régulations en "constance" deviennent des régulations en "tendance". Du moins doit-on plus précisément envisager le produit de l'intensité par la durée de la réaction, ce qui nous amène à concevoir une "quantité réactionnelle" et nous oblige, pour l'organisme entier comme pour la cellule, à l'envisager sous forme d',,énergie", de même que c'est une énergie de l'environnement qui la provoque.

Puisque nous arrivons à cette conclusion que le temps joue un rôle considérable dans le mécanisme de la maladie, et qu'il s'agit là d'un temps lié à la vitesse des processus enzymatiques, on est évidemment conduit à penser que l'un des aspects de la thérapeutique préventive est le ralentissement de la vitesse de ces processus, ce que réalise *l'hypothermie*. Ce sera aussi de tempérer la réaction nerveuse et endocrinienne, en particulier vasomotrice, qui a conduit au "changement de programme", ce que nous réalisons par la "neuroplégie".

Il n'est pas sans intérêt de signaler qu'une drogue comme la chlorpromazine, capable à l'échelle organique de bloquer la réflectivité nerveuse, à l'échelle de la cellule de rétablir un potentiel membranaire de repos, a été montrée également capable, par Szent-Gyorgyl, de ramener certaines molécules excitées à leur potentiel énergétique de base.

Cybernétique et comportement "intelligent"

Nous avons déjà signalé que le fonctionnement du système nerveux central avait été un des premiers phénomènes auxquels le cybernéticien avait prêté attention. Les exemples de mécanismes cybernétiques dans l'activité nerveuse sont innombrables; il n'est certes pas question dans un texte aussi contracté que celui-ci de schématiser, même les plus connus d'entre eux. Nous attirerons simplement l'attention sur certains faits distinguant l'activité nerveuse humaine de celle des autres animaux, mammifères en particulier.

En ce qui concerne l'organisation nerveuse centrale, elle paraît être analogue dans toutes les espèces évoluées. Un fait distingue nettement le cerveau humain, c'est l'énorme développement du cortex cérébral. Celui-ci est déjà un "néocortex" apparu tardivement dans la lignée animale, alors que le paléocortex, progressivement recouvert et rejeté plus profondément, se trouve actuellement représenté chez les mammifères par l'hippocampe. Au-dessous du cortex jusqu'à la moelle se trouve ainsi le paléocéphale. Celui-ci est le siège de fonctions déjà fort évoluées, dont l'une est indispensable à la survie de l'individu : la mémoire. Nous ne pouvons développer ici les récentes idées concernant les phénomènes de mémorisation. **Disons seulement que, quels qu'en soient les mécanismes complexes, ils sont indispensables à la survie de l'individu au même titre que la mémoire génétique, inscrite dans les molécules d'ADN, est indispensable à la survie de l'espèce.** Les faits mémorisés constituent des "ensembles" composés d',,éléments" mémorisés suivant la collecte réalisée par les sens, moyens de perceptions plus ou moins sensibles et diversement développés suivant l'espèce envisagée. L'architecture nerveuse du cortex a pu le faire considérer essentiellement comme un organe "d'association". Nous pouvons le considérer comme un organe d'association des "éléments" mémorisés dans le paléocéphale. Il s'en suit que son développement, presque caricatural chez l'homme, permettra des associations particulièrement nombreuses et

variées et nous voyons en lui la possibilité d',,imaginer''. Imaginer pourrait en effet se définir ''la possibilité d'associer de façon originale les éléments mémorisés''. L'enfant qui vient de naître n'a mémorisé que l'histoire du phylum dans ses molécules d'ADN. Il ne pourra imaginer que lorsque son expérience personnelle aura commencé à lui fournir les éléments mémorisés capables d'être associés d'une façon différente de celle suivant laquelle ils lui auront été confiés par ses sens. Le cortex joue ainsi un rôle que nous avons surnommé parfois de ''mélangeur''.

Un fait également essentiel chez l'homme est l'apparition des langages. Les mots en effet, se détachant des objets qui les ont vu naître, mémorisant les multiples facettes d'une expérience protéiforme, permettront l'abstraction. Le mélangeur ne fonctionnant plus seulement sur des ''éléments'' fournis par les sens, mais sur des concepts, permettra un comportement d'une richesse infinie. Ainsi, avec le cerveau humain pourra se développer la faculté essentielle d'une comparaison constante entre le comportement réflexe issu de l'expérience et mémorisé dans le paléocéphale, ''réflexe conditionné'' et résumé le plus souvent dans un réflexe de fuite ou de lutte, et le comportement élaboré par ''un mélangeur'' capable d'associer de façon originale les éléments mémorisés, c'est-à-dire de découvrir des solutions comportementales nouvelles aux variations survenues dans le milieu et de les soumettre à l'expérience des faits. Si l'on ajoute que le langage permet alors à toute réussite nouvelle d'être transmise aux générations suivantes, de dépasser ainsi le cadre de l'individu, on conçoit que si la molécule d'ADN a été le support de l'évolution génétique, le langage a été celui de l'évolution humaine.

Qu'il nous soit permis, en terminant, d'attirer l'attention sur deux notions qui nous paraissent intéressantes. La première, c'est que ce que nous avons coutume d'appeler la ''conscience'' n'est peut-être que la conséquence du fait que l'Homme, grâce à son cortex, son ''mélangeur d'informations'', d'une part s'interdit la possibilité de n'agir que de façon uniquement réflexe, donc inconsciente, mais que d'autre part son conditionnement paléocéphalique l'oblige à ne pas ignorer cependant le dur et lourd déterminisme des faits matériels. Ni ange, ni bête, mais conscient, tel est l'Homme pris entre son imagination et sa mémoire.

La seconde est que, si les mots ont permis à son expérience du monde une richesse d'abstraction qu'aucun autre animal n'a atteinte, l'erreur la plus grave qu'il ait commise au cours de l'Histoire est d'avoir cru qu'il existait une relation biunivoque entre eux et les objets qu'ils décrivent. Prendre le mot pour l'objet, lequel n'est déjà guère plus qu'une construction de nos sens, ne plus réagir paléocéphaliquement (ou en d'autres termes affectivement), qu'aux mots, est la source vraisemblable de nos malheurs et des calamités guerrières qui ont ensanglanté notre histoire. L'apport à l'intelligence humaine de la cybernétique et de la relativité, nous aidera peut-être à les faire disparaître. En effet, quand le cerveau prend conscience qu'il n'est lui-même qu'un système relationnel, pour s'évader de la prison fallacieuse des mots, il a trouvé la cybernétique, moyen d'exprimer dynamiquement un ensemble de relations. La cybernétique ne serait au fond qu'un des mécanismes par lesquels s'exprime la relativité du monde einsteinien.

En définitive, qu'observons-nous dans l'organisation croissante des structures vivantes jusqu'à l'Homme? Dès les êtres unicellulaires les plus simples, matériellement tout est déjà donné. C'est la dynamique cybernétique des constructions plus complexes qui fait surgir une ''efficacité'' progressive de l'individu sur son environnement. Devons-nous limiter là cette progression? Qui ne voit que l'organisation dynamique, elle-même progressive, des groupes et des sociétés humaines, n'est que le prolongement à un niveau de complexité supérieur de cet accroissement d'efficacité d'une action sur l'environnement? En en ayant pris conscience, l'Homme ne serait-il pas capable de s'ériger maintenant en commande de servo-mécanisme? Dans cette hypothèse, même en biologie, la cybernétique serait bien l'art de rendre efficace l'action.

Dr Henri LABORIT

projet pour un homme artificiel

Etienne VERMEERSCH

Docteur en Philosophie
Professeur à l'Université de Gand

On raconte que Michelange, après avoir sculpté son Moïse, jeta son ciseau vers la statue en s'écriant : ''Mais parle donc!''.

Cette anecdote exprime parfaitement le sentiment ambivalent de puissance et d'impuissance que beaucoup ont ressenti à travers les siècles. En effet, presque chaque époque a vu des hommes croyant à la possibilité de connaître la nature humaine d'une façon exhaustive et, partant, d'en faire une copie parfaite. Mais, après avoir été confrontés avec les résultats de leurs travaux, ils ont toujours été forcés d'admettre qu'il existait un abîme immense entre la copie et la réalité. Et cette frustration a donné le jour à toutes sortes de légendes et de mythes, dans lesquels s'extériorise un rêve humain millénaire : arriver un jour à fabriquer un homme vivant.

L'une des formes les plus anciennes de ce thème est la légende juive du Golem. Cette fiction du Golem - un homme créé par des artifices magiques - est inspirée du récit de la création dans le livre de la Genèse. C'est en se basant sur ce récit, en effet, que les rabbins du IIIème ou du IVème siècle émirent l'hypothèse qu'il serait peut-être possible d'imiter l'œuvre créatrice de Dieu, à condition de trouver la bonne combinaison de lettres et de mots créateurs (Dieu créa *en parlant*).

Au cours du XIIème siècle, la croyance qu'une telle chose pouvait être réalisée au cours des rites d'initiation prévalait chez une secte juive (les Chassidim). On prenait soit-disant une certaine quantité de limon, on la pétrissait et on prononçait ensuite 221 combinaisons de signes tirés de l'alphabet. Alors le Golem prenait vie. On disait ensuite les combinaisons dans l'ordre inverse et il retombait en poussière.

Au XVIème et au XVIIème siècle des légendes naquirent en Allemagne et surtout en Pologne, attribuant ces créations de Golems à des rabbins illustres. Sous cette forme le mythe acquiert deux caractéristiques nouvelles : le Golem est créé à des fins utilitaires (il effectue des travaux ménagers) et l'on met l'accent sur le fait qu'il peut constituer un danger pour son créateur.

L'histoire du rabbin Elija de Chelm, en Pologne (env. 1580), est typique à cet égard. Celui-ci aurait créé un homme d'argile et lui aurait insufflé la vie en prononçant des paroles adéquates. Ce Golem ne savait pas parler, mais il comprenait ce qu'on lui disait et s'acquittait de diverses tâches. Sur son front était inscrit le mot ''emeth'' (vérité). Chaque jour il grandissait davantage, jusqu'à devenir un géant menaçant. A ce moment le rabbin effaça la première lettre du mot. Il resta ''meth'' (mort) et le Golem retomba en une masse informe d'argile. Après quoi le rabbin en

fabriqua un autre, puis d'autres encore. Mais un de ces Golems était devenu si grand, que le rabbin ne parvenait plus à atteindre son front. Il lui demanda de l'aider à retirer ses bottes dans l'espoir, le robot se baissant, de pouvoir ainsi effacer la lettre. Grâce à cette ruse il y parvint, mais toute la construction d'argile s'abattit sur lui et l'écrasa sous son poids.

Remarquons enfin que les diverses formes de la légende du Golem influencèrent la littérature allemande du XIXème siècle. De nombreux auteurs s'en inspirèrent : Arnim, Hoffmann, Hebbel, Rosenberg, Nathan Grün et surtout Gustav Meyrinck, dans son livre célèbre *Le Golem*.

Le succès que connût la légende du Golem montre combien l'idée de la création magique d'une réplique de l'homme, comme possibilité tentante mais aussi comme danger, peut être fascinante.

■

Le thème de la *statue vivante* est la deuxième forme sous laquelle se présente cette même idée de création d'un être artificiel.

L'admiration qui a toujours été le fait de l'homme simple envers les artistes est sans doute à l'origine de la croyance en un art permettant de recréer, non seulement les apparences extérieures de la vie, mais la vie elle-même. On a prétendu que le dieu Hephaistos (Vulcain), et même aussi l'artiste Dédale, étaient capables de faire des statues vivantes.

Il y a aussi la légende de Pygmalion, que nous retrouvons par exemple chez Ovide. Pygmalion est un artiste qui taille une statue de femme si belle, qu'il en devient amoureux. Par cet amour, et grâce à l'intervention de Vénus, la statue prend vie.

Vers le début de notre ère, l'opinion prévalait que l'on pouvait faire vivre des statues par des pratiques magiques. Les grands philosophes arabes, tels Averroës et Avicenne, le croyaient fermement et avancèrent même des théories pour tenter d'expliquer le phénomène. Au Moyen-Age, des bruits circulaient selon lesquels le pape Sylvestre II (env. 1000) avait fabriqué une statue vivante à laquelle il pouvait poser des questions de toutes sortes. La statue, cependant, ne pouvait répondre que par oui ou par non.

Cette idée de la possibilité de créer un homme par une alliance de l'art et de la magie fut cependant peu à peu battue en brèche au profit d'une autre conception : la fabrication d'un *homunculus* (petit homme) par des procédés relevant de l'alchimie. Les alchimistes estimaient, en effet, que l'essence de l'être humain est déterminée par une combinaison spécifique d'un certain nombre d'éléments, et ils cherchaient à réaliser cette combinaison en laboratoire. C'est chez Paracelse (1493-1541) que cette tentative de produire un homunculus dans une bouteille prend une forme précise. Sa recette consiste à partir d'un mélange de sperme, d'urine et de sang, le tout étant maintenu à une température constante pendant 40 jours. Si tout va bien (!) il en résulte un être vivant, semblable à l'homme, mais beaucoup plus petit.

Cette création ''in vitro'' rappelle évidemment le *Brave New World* de Huxley, où les embryons sont également élevés artificiellement dans des bocaux. La différence entre les deux thèmes est néanmoins trop grande pour que l'on puisse songer à une influence directe. Mais celle-ci n'est peut-être pas totalement absente dans le *Frankenstein* de Mary Shelley (1818). On y voit un homme adulte fabriqué à partir de connaissances biologiques et chimiques, lequel homme devient ensuite un criminel. Cet accent vigoureux mis sur les dangers d'une pareille création était cependant absent chez Paracelse.

Notons encore que la version littéraire la plus célèbre de ce thème est sans conteste la création de l'homunculus dans *Faust II*, de Goethe.

■

La dernière variante de ces mythes et légendes va nous rapprocher sensiblement de la cybernétique. En dehors de la création magique, artistique ou alchimique, on a également pensé, en effet, à créer l'homme en tant qu'automate ou robot.

L'admiration qui a toujours été le fait de l'homme simple envers les artistes est sans doute à l'origine de la croyance en un art permettant de recréer, non seulement les apparences extérieures de la vie, mais la vie elle-même. On a prétendu que le dieu Hephaistos (Vulcain), et même aussi l'artiste Dédale, étaient capables de faire des statues vivantes. Il y a aussi la légende de Pygmalion, que nous retrouvons par exemple chez Ovide. Et vers le début de notre ère, l'opinion prévalait que l'on pouvait faire vivre des statues par des pratiques magiques.

La différence entre un automate et une statue ordinaire est qu'on ne se borne plus, avec l'automate, à montrer l'apparence extérieure d'un être humain, mais qu'on invente également des mécanismes permettant d'imiter certaines de ses actions, par exemple les mouvements des membres, l'émission de sons, etc.

De pareils automates étaient déjà connus dans l'Antiquité. C'est ainsi que Héron d'Alexandrie (IIIème siècle avant J.C.) avait édifié un théatre automatique où l'on voyait danser des bacchantes. Plus tard les réalisations se multiplièrent, et la forte impression qu'elles faisaient généralement sur le public ne manqua pas de donner naissance à des exagérations et, ici aussi, à des légendes. Albert le Grand (XIIIème siècle) n'était-il pas censé avoir construit un automate qui était même capable de parler? Mais au fur et à mesure que la technique de construction des automates se perfectionnait - au XVIIème siècle on pouvait en voir, déjà, de remarquables - l'opinion prévalait qu'il serait tout de même possible, un jour, de construire un homme ''totalement'' vivant.

L'idée pénétrait aussi dans la littérature. Dans la pièce *Le Marchand de Sable*, de Hoffmann, un étudiant s'éprend d'Olympia, la fille de son professeur, mais il se rend compte plus tard, à sa grande horreur, qu'il s'agit d'un automate. La danse de cette poupée est l'une des scènes les plus impressionnantes de l'opéra d'Offenbach, *Les Contes d'Hoffmann* (1880).

Une variante du même thème est le conte populaire *Pinocchio*, de Collodi (1883). Walt Disney en tira plus tard un film.

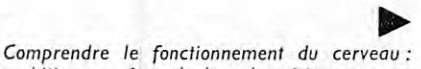
Dans la littérature de notre siècle, l'image de robots identifiables à l'homme est principalement utilisée pour évoquer les dangers d'une mécanisation industrielle sans cesse grandissante, qui peut rendre l'homme esclave de ses machines. L'œuvre la plus connue, dans cet ordre d'idées, est celle de Karl Capek, *Les Robots universels de Rossum* (1920) où, pour la première fois, on trouve le terme ''robot'' dans la littérature. Ici les automates se révoltent et détruisent l'homme. Une idée similaire a été développée par Romain Rolland dans *La Révolte des Machines* (1949). Cette fois, l'homme devient l'esclave des machines. Dans le film *Alphaville* de Goddard, l'état est dirigé par un automate.

Retenons de ces variantes d'un même mythe que l'idée de construire un homme artificiel n'est nullement récente, mais est ancrée depuis longtemps dans les profondeurs de l'esprit humain. Il est devenu clair aussi que cette idée peut avoir un attrait irrésistible pour les uns tandis qu'elle n'évoque, chez d'autres, que l'horreur et même parfois l'angoisse, et cela de plus en plus dans la mesure où les progrès de l'automatisation des tâches typiquement humaines semblent indiquer que ce rêve ou ce cauchemar pourraient devenir un jour réalité.

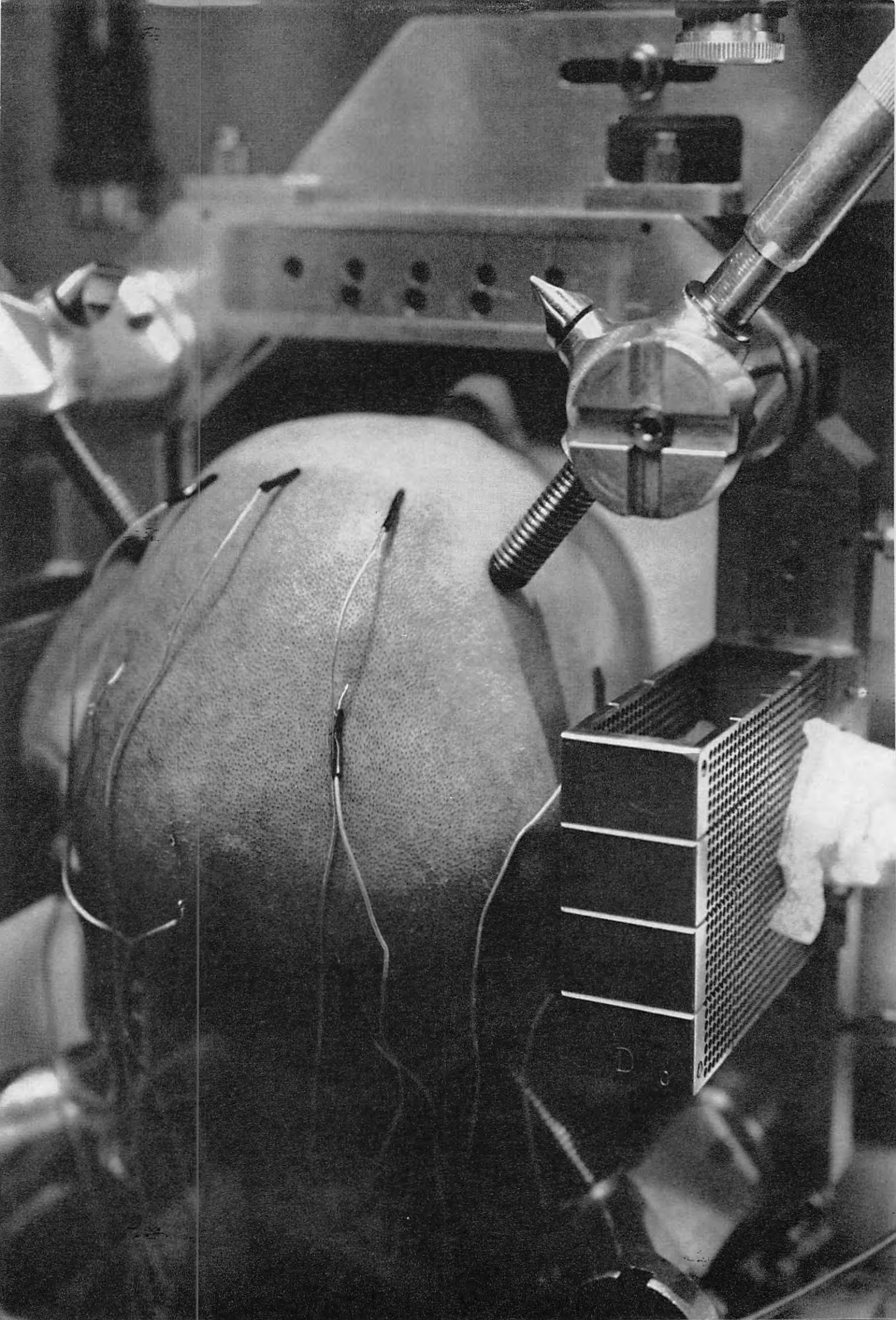
■

On comprend maintenant qu'il soit normal de se demander, d'un point de vue philosophique et scientifique, si la construction d'un homme artificiel est une chose réellement possible, indépendamment d'ailleurs du fait de savoir si cela pourra jamais se faire un jour dans la pratique. Il est intéressant d'y réfléchir parce que la réponse à cette question est intimement liée aux idées que l'on se forge sur la condition humaine, en particulier de savoir s'il est possible de connaître de façon exhaustive l'essence ou la nature de l'homme.

Descartes (XVIIème siècle) fut le premier à poser fort clairement le problème dans la philosophie moderne. Comme point de départ, il choisit sa vision mécanistique du monde - une vision selon laquelle tous les phénomènes de la nature peuvent s'expliquer au moyen des principes de la mécanique. C'est ainsi qu'il en vint à sa thèse de ''l'animal-machine'' : les animaux ne seraient que des mécanismes hautement perfectionnés, mais comparables à des horloges et aux automates existant de son temps. Cette opinion fut renforcée par les découvertes de cette époque en anatomie, qui permirent, notamment, de considérer les muscles et les articulations comme des systèmes de leviers. L'argument décisif, toutefois, fut sans doute la décou-



Comprendre le fonctionnement du cerveau : ambition suprême de la cybernétique. On voit ici une application de l'électroencéphalographie en technique profonde. Sept aiguilles sont placées dans le cerveau pour localiser les zones épileptiques.



verte de la circulation du sang par Harvey (1628), car il fut ainsi prouvé que le cœur, dont le rôle est si important dans la vie de l'homme, n'était qu'une pompe, c'est-à-dire un mécanisme dont le fonctionnement pouvait, une fois de plus, être expliqué par la physique. Descartes n'alla cependant pas jusqu'à appliquer cette conception à la description de l'homme. Il considérait bien le corps humain comme un mécanisme, mais il acceptait l'existence d'une conscience, d'une âme de nature immatérielle et à laquelle étaient attribuées les activités humaines ''supérieures'', comme la pensée, la volonté, etc.

Le point de vue de Descartes fut repris et poussé à l'extrême par La Mettrie dans son ouvrage *L'homme-machine* (1748). Il y affirme que l'homme tout entier, et pas seulement son corps, doit être considéré comme une machine compliquée et que les manifestations psychiques doivent être considérées comme des activités de cette machine. Le grand argument de La Mettrie était que les activités de l'âme, comme la pensée, la conscience, etc., sont influencées par les conditions physiologiques : une lésion du cerveau, ou même le fait de boire de l'alcool ou de s'adonner à des stupéfiants, a un effet immédiat sur les performances psychiques.

La principale difficulté que rencontrait La Mettrie en défendant sa thèse était qu'il ne pouvait se référer qu'aux automates de son époque. Ceux-ci étaient bien capables d'exécuter toutes sortes de mouvements, mais on n'avait aucune idée quant au moyen de leur faire simuler les activités typiquement humaines.

Aujourd'hui, grâce à la cybernétique, il est devenu possible de construire des automates capables de faire montre d'une série totalement nouvelle d'activités, et ce sont précisément celles que l'on croyait traditionnellement réservées au domaine du psychique ou du mental (observer, apprendre, résoudre des problèmes, corriger ses erreurs, etc.). Ces automates nous fournissent des données relatives à l'essence même des processus intellectuels et c'est ainsi que l'on peut reposer le problème de l'explication de la nature de l'homme, et aussi considérer sous une nouvelle lumière le rêve séculaire de la création de l'homme artificiel.

Des gens comme La Mettrie ne connaissaient que des automates que l'on pouvait décrire au moyen des lois régissant la matière et l'énergie, tandis que dans les automates modernes, c'est le concept d'information qui est d'une importance capitale. Nous allons montrer comment on peut définir ce concept dans la perspective qui nous occupe ici, et aussi comment on peut le mettre en relation directe avec ceux d'énergie et de matière.

■

Nous introduisons immédiatement la notion de ''forme''. Nous appelons forme, tout état de la matière ou de l'énergie qui peut être distingué d'autres états par un être ou un système déterminé (homme, animal ou machine). Des états qui ne peuvent être distingués l'un de l'autre sont considérés par nous comme constituant une même forme. ''Distinguer des états'' signifie faire montre, envers eux, de réactions différentes (extérieurement ou intérieurement). L'on sait que les abeilles réagissent différemment à des danses diverses d'un partenaire; ces danses sont donc des formes pour les abeilles. Si un juke-box joue des airs déterminés lorsque l'on place un index dans diverses positions, alors les différentes positions de cet index sont des formes pour le juke-box. Il en est de même, pour l'homme, des lettres de l'alphabet, des mots, des sons, des objets, et ainsi de suite.

Un premier point qu'il est essentiel de ne jamais perdre de vue, c'est que les formes ont toujours un substratum énergétique ou matériel, parce qu'elles sont des états d'énergie ou de matière. Un second point à noter, est qu'il n'existe de formes que dans la mesure où elles peuvent être distinguées par un système.

Nous énonçons maintenant notre thèse fondamentale : tout ce que l'on a considéré, jusqu'à présent, comme réception, transformation et émission d'information (donc l'observation, l'étude, la parole, etc.) tant dans les machines que chez les animaux et chez l'homme, doit être considéré et peut donc être décrit en termes de formes. En bref, toute information est une forme.

Appelons dès lors système informationnel (en abrégé I-système) tout système capable de traiter de l'information, c'est-à-dire capable de distinguer des formes et, le cas échéant, de les assimiler, de les transformer, de les émettre. Nous distinguons ces I-systèmes des systèmes de matière (M-systèmes) qui ne transforment que de la matière (ce seraient, par exemple, des haut-fourneaux) et des systèmes d'énergie (E-systèmes) qui transforment de l'énergie (par exemple des moteurs électriques).

La version moderne de la thèse de La Mettrie devrait maintenant s'énoncer comme suit : l'homme est caractérisé, en dehors du fait qu'il est constitué d'un M-système et d'un E-système (comme les animaux), par la présence d'un I-système extrêmement compliqué, capable de revêtir un grand nombre d'états et, par là même, d'observer, de transformer, de transmettre un grand nombre de formes.

On peut se demander si l'analogie que nous postulons ainsi entre l'information telle qu'elle est manipulée par les machines et l'information que traitent les êtres humains, est valable. Divers faits plaident en faveur de cette assimilation.

En effet, les informations (connaissance) que nous recevons du monde extérieur se présentent toujours sous forme d'états d'énergie ou de matière, qui est distinguée ou identifiée. Cela est vrai pour les stimuli directs (visuels, auditifs, tactiles, etc.) aussi bien que pour les formes plus évoluées comme le langage parlé ou écrit. Il en est de même en ce qui concerne la transmission d'informations par notre système nerveux : elle se fait sous forme d'impulsions de caractère électrochimique. Et pour ce qui concerne les activités dont nous ne connaissons pas encore le processus neurologique (comme le fait de penser), chaque fois que nous essayons d'en simuler certains aspects au moyen de machines, ce sont encore des variations d'états énergétiques qu'il nous faut mettre en œuvre.

Attirons enfin l'attention sur le rôle énorme que jouent les formes, rôle qui apparaît clairement dès que l'on en examine quelques propriétés.

Tout d'abord, les formes peuvent être *amplifiées*. Cela signifie qu'au moyen de I-systèmes bien choisis, on

Aujourd'hui, grâce à la cybernétique, il est devenu possible de construire des automates capables de faire montre d'une série totalement nouvelle d'activités, et ce sont précisément celles que l'on croyait traditionnellement réservées au domaine du psychique ou du mental (observer, apprendre, résoudre des problèmes, corriger ses erreurs, etc.). Ces automates nous fournissent des données relatives à l'essence même des processus intellectuels et c'est ainsi que l'on peut reposer le problème de l'explication de la nature de l'homme, et aussi considérer sous une nouvelle lumière le rêve séculaire de la création de l'homme artificiel.

peut transformer des formes de flux énergétiques minimes en formes de flux très puissants. Un disjoncteur-conjoncteur automatique, un ''ampli'' de radio sont de bons exemples d'amplificateurs de formes, tout comme d'ailleurs le thermostat (I-système faible) qui contrôle l'activité d'une chaudière (E-système puissant).

Remarquons, en relation avec ce dernier exemple, que quand un I-système enregistre l'output d'un E-système et en modifie ensuite l'input, on obtient un système autorégulé. Et lorsqu'on connaît l'importance fondamentale de l'autorégulation tant dans les machines modernes que chez les êtres vivants, on se rend compte du fait qu'une grande partie de l'information est employée chez les hommes, chez les animaux et dans les machines, pour atteindre les mêmes buts et de la même façon.

Les formes peuvent être *transformées*. Nous entendons par là qu'elles peuvent être transportées d'un substratum sur un autre. C'est le cas, par exemple, des informations qui, constituées de vibrations sonores au départ (un discours, un concert, etc.), sont captées par des microphones, diffusées par un émetteur radiophonique, captées par un récepteur et finalement rediffusées dans l'atmosphère, sous leur forme primitive, par un haut-parleur. Un autre exemple est celui de la transformation d'un message parlé en message écrit ou inversement. La transformation des formes atteint ses sommets dans les moyens modernes de communication.

Les formes peuvent être *conservées*. Les livres, les bandes magnétiques, et aussi bien sûr notre cerveau, conservent, avec des efficacités variables, les informations qui leur sont confiées.

■

Nous allons maintenant examiner - et nous pénétrons ainsi dans le cœur même de notre sujet - comment il pourrait être possible de construire une machine capable de manier des formes de la même façon que le fait l'homme. Ou, pour employer un langage plus précis, nous allons essayer de voir dans quelle mesure on pourrait arriver à simuler dans un I-système artificiel, les processus suivant lesquels l'homme utilise l'information.

En ce qui concerne les perceptions sensorielles, nous serons brefs : il est clair que des cellules photo-électriques, des microphones et des micro-rupteurs sont capables de simuler les sens de la vue, de l'ouïe et du toucher. Que, par ailleurs, faire distinguer par des machines des formes visuelles et auditives ne pose plus de difficultés techniques est prouvé, notamment par les progrès des machines à lire.

De plus, on sait que de nombreuses activités intellectuelles typiquement humaines peuvent déjà être imitées, en grande partie, par des cerveaux électroniques : calculer, démontrer des théorèmes de géométrie, jouer aux échecs ou aux dames, traduire des textes et même composer des poèmes ou de la musique. Les recherches sont en plein développement dans tous ces domaines, et nous n'avons pas l'intention de nous y attarder.

La question que nous posons est la suivante : sera-t-il jamais possible qu'une machine puisse acquérir une *connaissance* du monde extérieur analogue à celle que nous en possédons, qu'elle puisse donner une *signification* au langage comme nous le faisons nous-mêmes, qu'elle en arrive, enfin, à posséder une *conscience* ? Il est évidemment impossible, dans l'état actuel de la science, de répondre d'une façon définitive à cette question. Le ''projet pour un homme artificiel'' que nous présentons ici, a néanmoins pour objet d'ouvrir une voie d'approche, en partant de la notion de forme telle que nous l'avons définie. Il propose un schéma très général qui pourrait être considéré, peut-être, comme une première approximation pour un plan d'un I-système capable d'avoir une connaissance du monde semblable à la nôtre.

Nous voudrions insister, toutefois, sur le fait que nous n'avons absolument pas la prétention de dire que les problèmes énormes que poserait la construction effective d'un tel système sont, même partiellement, résolus. Tout ce que nous désirons montrer, c'est que la croyance en la possibilité de construire ce système ne peut plus être considérée comme totalement insensée.

mémoire visuelle peut avoir pour conséquence qu'ultérieurement, le sélecteur active une autre forme dans ce même modèle (par exemple, après la représentation d'un *arbre*, celle d'une *branche* peut être évoquée).

Ce feedback permet donc au système de réaliser des *associations* dans son modèle visuel : par des processus d'apprentissage, certaines formes y sont alors reliées entre-elles, de telle sorte que l'une puisse évoquer l'autre. Cela signifie qu'un modèle n'est pas un assemblage quelconque de formes, mais qu'il y existe des relations entre ces formes. Ces relations correspondent partiellement aux relations existant entre les formes dans le monde extérieur. C'est pourquoi il nous est permis de dire que le modèle offre une similitude de structure avec le monde extérieur et en est donc une *image* au sens strict du mot. C'est grâce à cela, par exemple, que nous pouvons retrouver notre chemin dans une maison qui nous est familière, même quand il fait noir.

La ligne de feedback que nous venons d'introduire est évidemment, à nouveau, une représentation simplifiée d'un mécanisme extrêmement compliqué chez l'homme.

Nous établirons de même une ligne de feedback entre le modèle auditif et son sélecteur, grâce à quoi se formeront dans le modèle auditif, d'une manière analogue à ce qui a été dit pour le modèle visuel, des associations de mots et de phrases. C'est ainsi que chacun de nous possède des combinaisons de mots qui lui sont familières, et qui constituent des collections de ''jugements'' ou de ''propositions'' concernant les événements les plus variés. Remarquons que ce sont ces associations (donc celles qui se produisent dans le modèle auditif) qui constituent pour la plus grande part ce que nous appelons traditionnellement la *connaissance*.

Le sélecteur du modèle auditif disposera également d'un pouvoir de sélection au moyen duquel des jugements pourront être confrontés les uns avec les autres, et aussi déduits les uns des autres. Ce processus devra se développer en conformité avec les règles de la logique.

Poursuivant notre construction, nous établirons maintenant des liaisons entre la zone du visuel et la zone de l'auditif. Ceci est un pas décisif. En effet, grâce à ces liaisons, un mot formé dans le modèle auditif peut déclencher une impulsion qui va évoquer, dans le modèle visuel, une forme qui y est rattachée. Inversement, une forme visuelle peut activer une forme auditive correspondante. Et c'est ainsi qu'il devient possible qu'un certain mot, disons ''arbre'', évoque la représentation correspondante d'un arbre dans le modèle visuel tandis que, d'autre part, lorsque la forme visuelle ''maison'' est activée dans le modèle visuel, le ''mot'' maison surgisse dans le modèle auditif.

On voit ainsi comment un I-système artificiel peut être capable de simuler l'emploi d'un langage *y compris sa signification*. Cette sémantique résulte à la fois des relations entre deux modèles et des possibilités d'association à l'intérieur de chacun de ces modèles.

■

Nous avons montré, jusqu'à présent, comment le système artificiel a été rendu apte à capter des formes et à les interpréter, à les traiter. Il nous faut encore, pour en terminer, pourvoir le système des éléments qui lui permettront d'émettre des formes, de ''répondre'' aux stimuli qui lui seront appliqués ou, en d'autres termes, d'être capable de produire certaines réactions motrices. Ce sera le rôle de l'output et de son sélecteur, dont l'action peut être mise en parallèle avec celle, chez l'homme, de la partie motrice du système nerveux qui contrôle les muscles. Une fonction très importante de l'output est évidemment la production des sons parlés.

Les réactions motrices du système sont choisies par le sélecteur sous l'influence d'impulsions qui lui sont envoyées par les modèles. Du modèle visuel peuvent venir, tout d'abord, des impulsions partant de formes qui ont été reliées directement, par un processus d'apprentissage, à certaines réactions. C'est ainsi que, quand nous conduisons une voiture, nous réagissons à l'apparition de certaines formes visuelles sans que cela implique un raisonnement quelconque ou un

De nombreuses activités intellectuelles typiquement humaines peuvent déjà être imitées, en grande partie, par des cerveaux électroniques : calculer, démontrer des théorèmes de géométrie, jouer aux échecs et aux dames, traduire des textes et même composer des poèmes ou de la musique. La question que nous posons est la suivante : sera-t-il jamais possible qu'une machine puisse acquérir une connaissance du monde extérieur analogue à celle que nous en possédons, qu'elle puisse donner une signification au langage comme nous le faisons nous-mêmes, qu'elle en arrive, enfin, à posséder une conscience?

processus verbal (exemple : s'arrêter à un feu rouge). D'autre part, il y a des réactions qui sont typiquement liées à l'apparition d'une forme auditive (par exemple, pour des soldats, à un commandement militaire). Il y a également des mouvements que l'on n'exécute qu'après une série d'interactions qui se produisent à l'intérieur du modèle visuel ou du modèle auditif, ou encore entre ces deux modèles. Ce sont les actions qui se font après *réflexion*. Enfin, il y a des chaînes de mouvements qui, lorsqu'elles sont amorcées, se développent spontanément sans qu'il soit besoin d'impulsions nouvelles. Ce sont les automatismes (par exemple les mouvements de la nage). Ils sont justiciables d'une liaison bouclant le sélecteur d'output sur lui-même.

■

On remarquera que des combinaisons de formes ayant le caractère d'une amorce de mouvement peuvent naître dans le modèle visuel ou auditif, *sans* que le mouvement s'ensuive nécessairement. Nous pouvons former la pensée ''nous allons nous lever'', et pourtant rester couchés. C'est pour cette raison qu'a été introduit le sélecteur de sensations ou sélecteur émotionnel, qui constitue une première tentative de résolution de ce difficile problème.

Le sélecteur émotionnel est un dispositif qui est capable, à des degrés variables, de *renforcer* (stimuler) ou de *freiner* (inhiber) l'activité des divers éléments du système artificiel. Et nous justifions, pour ce sélecteur, le qualificatif ''émotionnel'' par le fait que ce que nous appelons communément émotions (plaisir, joie, angoisse, etc.) a pour résultat principal de conditionner le genre et la vitesse de nos processus d'association et de nos réactions motrices.

Donnons, comme exemple, un cas limite : pendant le rêve, le sélecteur du modèle visuel peut être stimulé, provoquant toutes sortes de représentations visuelles, tandis que le sélecteur d'output est presque totalement inhibé, de sorte qu'il n'en résulte à peu près aucune réaction motrice. (Chez le somnanbule, il y a carence du système inhibitoire.)

L'état du sélecteur émotionnel est déterminé par le récepteur émotionnel (cas des sensations directes) ou par les modèles. Il est clair, en effet, que de nombreuses émotions sont liées à certaines représentations ou idées, donc à des formes se trouvant dans les modèles.

Le sélecteur émotionnel agit sur les autres éléments du système, qui à leur tour réagissent sur le sélecteur. Il se développe donc dans le système des influences réciproques très compliquées, qui permettent d'ailleurs de rendre compte des processus d'autorégulation et d'apprentissage.

En effet, les mouvements exécutés par l'output peuvent provoquer l'apparition de nouveaux stimuli aux récepteurs, en particulier au récepteur émotionnel, ce qui, suivant que les émotions seront positives ou négatives (plaisir ou douleur, par exemple), conduira via le sélecteur émotionnel, à une stabilisation ou à un changement rapide des outputs, ou encore à des changements dans les chaînes d'association dans les modèles. C'est ainsi que des émotions négatives se présentant au récepteur émotionnel (par exemple si l'on a heurté plusieurs fois de suite un obstacle) peuvent modifier l'image de l'environnement dans le modèle visuel ou conduire à des changements de jugement dans le modèle auditif.

Le système peut donc s'adapter continuellement au milieu dans lequel il se meut *(autorégulation)* et il peut modifier ses états internes par le contact avec le monde extérieur *(apprentissage)*.

■

Nous avons ainsi défini les éléments essentiels dont devrait disposer un I-système artificiel pour pouvoir imiter le système informationnel de l'homme. On comprendra qu'il s'agit ici d'une tentative partielle qui, de plus, doit être considérée comme hypothétique en bien des aspects. L'entièreté du projet est évidemment très simplifié, mais il ne semble pas qu'il y aurait des obstacles à sa réalisation.

La lacune la plus importante, dans ce qui précède, est sans doute le fait que nous n'avons pas parlé de la *conscience*, principalement de la conscience qu'a l'homme de lui-même, de sa propre existence.

L'analyse du phénomène de la conscience est un problème très confus, et nous n'avons pas encore le sentiment d'y voir clair. On est toutefois généralement d'accord pour dire que la *réflection* (ne pas confondre avec réflexion) en constitue un aspect essentiel. Elle consiste en un pouvoir de porter des jugements sur sa propre situation, et aussi sur ces jugements eux-mêmes (par exemple : je vois une table, je sais que je vois une table). Il ne semble pas qu'il soit difficile de réaliser cela dans le I-système artificiel. En effet, on peut former constamment, dans le modèle auditif, des jugements sur ce qui se passe dans les autres parties du système. Renvoyés au sélecteur de ce modèle, ils peuvent être pris comme objets pour de nouvelles propositions.

Il existe, dans la conscience, d'autres aspects qui sont en rapport avec ce que nous entendons traditionnellement par la *volonté* et le *sentiment* (ce sont les aspects volitif et émotif de la conscience). Il nous paraît que, puisque l'activité de tout le système est contrôlé par le sélecteur émotionnel, nous avons, au moins en partie, la simulation de cette volonté. D'autre part, l'interaction du sélecteur émotionnel et du modèle auditif fournit une possibilité de réflection sur l'état de tension de l'organisme, réflection qui elle-même influence le sélecteur émotionnel, etc. Cela nous semble fort proche de ce que l'on peut appeler une prise de conscience du sentiment et de l'émotion.

■

Nous pensons avoir ainsi montré que la matérialisation de cet ancien rêve de l'homme, créer un être qui lui ressemble absolument, ne peut plus être considéré comme totalement irréalisable.

Mais même si nous n'avons pas convaincu certains lecteurs, le but de cet article sera atteint si nous avons réussi à les inciter à réfléchir quelque peu à ce problème.

Etienne VERMEERSCH

la médecine cybernétique

Dr Aldo MASTURZO

Professeur à l'Université de Naples
Président de la Société Internationale de Médecine Cybernétique

La médecine moderne est caractérisée par un développement énorme des recherches de laboratoire. Elles sont conduites soit sur le plan de la recherche pure, soit sur celui des applications pratiques.

Le plan de la recherche pure est constitué de l'ensemble des investigations visant à découvrir les causes des maladies, c'est-à-dire leur étiologie, et les mécanismes par lesquels ces causes agissent, c'est-à-dire leur pathogénie.

Le plan des applications pratiques concerne le diagnostic et la thérapeutique.

On doit donc envisager deux volets de l'action médicale. Le premier est constitué par la science médicale proprement dite, qui s'occupe de la recherche biomédicale, tandis que le second est représenté par la clinique, dont le but est de protéger la santé humaine.

La clinique est étroitement liée à la recherche biomédicale et ses progrès sont la conséquence des progrès de cette dernière. Mais pour pouvoir utiliser les résultats de la recherche, la clinique doit manipuler ces résultats par un processus de ''transduction''. Celui-ci est resté très simple jusqu'à ces derniers temps (disons une vingtaine d'années), parce qu'on n'avait à traiter que peu d'informations, représentées, pour la plupart, par des expressions littéraires, très faciles à comprendre et commodes à traiter par les moyens de la logique traditionnelle. Mais cette logique n'est plus suffisante pour la médecine moderne, qui se trouve en présence de dossiers renfermant de très grands nombres d'informations, presque toujours présentées dans un langage numérique. Pour coordonner ces informations et les utiliser efficacement, nous devons recourir à une technique nouvelle, sinon nous allons nous trouver en présence d'un excès d'analyse et d'un grave manque de synthèse.

■

Le problème a été résolu par l'introduction de la cybernétique en médecine et en biologie, introduction souhaitée depuis longtemps et effectivement réalisée en 1958 par la création de la Société Internationale de Médecine Cybernétique. Celle-ci s'attache à promouvoir un nouveau mouvement de la pensée médicale, auquel adhèrent déjà de nombreux biologistes et cliniciens des plus éminents.

Faisons remarquer que lorsque nous parlons de biologie, nous y incluons la pathologie. Et puisque la biologie et la médecine travaillent en très étroite collaboration, nous utilisons le terme de biomédecine pour désigner les deux disciplines, associées pour développer un programme commun visant au progrès de la connaissance de l'homme et, par voie de conséquence, au maintien de sa santé.

◀

Prothèses cybernétiques : l'imitation même de la vie... pour la remplacer quand elle est défaillante.
On voit ici Ed. Roszak, tétraplégique, se rasant dans un hôpital de Cleveland grâce à une extraordinaire prothèse de ce type. Des rayons infrarouges, émis par un spot situé à l'intérieur de ses lunettes, activent un ''computer'' qui met un moteur en marche pour remuer le bras (la photographie, prise en deux temps, montre le bras dans une double position).

Les résultats de l'application de la cybernétique à la biomédecine sont largement diffusés par la littérature médicale actuelle. Ils ont aussi été particulièrement mis en évidence au cours des quatre Congrès Internationaux et du Symposium International de Cybernétique Médico-sociale qui ont été organisés par la Société Internationale de Médecine Cybernétique au cours de ces dernières années.

En outre le traité intitulé "Cybernetic Medicine", écrit par nous et publié par Charles Thomas, Springfield, U.S.A., présente un panorama général des réalisations qui peuvent déjà être portées à l'actif de la médecine cybernétique.

L'introduction de la méthodologie cybernétique dans la recherche médicale a eu pour conséquence un progrès remarquable dans les acquisitions scientifiques de la biomédecine, tant en ce qui concerne les sujets sains que les malades.

C'est par des moyens cybernétiques, en effet, qu'on a réussi à franchir de nombreux obstacles qui s'opposaient à l'investigation. Celle-ci, il est vrai, s'est enrichie récemment de nombreuses techniques, empruntées à la physique et à la chimie, qui lui ont permis de faire des bonds spectaculaires en avant dans le domaine de la collecte des informations, mais leur aide a été nulle en ce qui concerne la "structuration" de ces informations. On en arrivait à disposer d'un très grand nombre de résultats, mais leur utilisation restait incomplète par manque d'un langage adéquat permettant d'exprimer en termes quantitatifs les faits de la biologie.

La technique des modèles nous a donné le vrai fil d'Ariane. En effet, en construisant des modèles reproduisant les phénomènes de la vie, on est arrivé, par le raisonnement analogique, à l'interprétation de faits biologiques autrement inexplicables.

Le raisonnement analogique est un instrument puissant au service de la recherche biologique. Il permet de passer d'une proposition à une autre par l'emploi des règles de la logique et conduit à des conclusions que l'expérience est ensuite appelée à confirmer ou à infirmer.

La mise en œuvre du raisonnement analogique comporte trois étapes, dont la première consiste à construire un modèle mathématique du phénomène à expliquer, en partant des observations de l'expérience directe.

La deuxième étape correspond à la transformation du modèle mathématique en un modèle physique, généralement électronique. Remarquons que ce modèle peut, et sera même souvent construit directement sur la seule base des faits observés, sans recours préalable au modèle mathématique. Dans ce cas, la première étape est absente. En étudiant le fonctionnement du modèle physique, on relève des propriétés nouvelles, qui n'avaient pas été découvertes dans le système observé.

L'étape finale consiste dans le "transfert" des propriétés du modèle au système étudié.

En comparant successivement le fonctionnement du modèle à celui de l'original, on arrive à perfectionner progressivement le premier et à mieux connaître le second.

■

Il résulte de ce qui précède que les modèles permettent de simuler certaines fonctions biologiques. Des organes du corps humain ont été étudiés par cette méthode, qui a permis de déceler les lois naturelles qui en règlent le fonctionnement. Elle peut être utile pour expérimenter l'action de substances pharmacologiques, pour prévoir des effets de l'accélération ou de la zéro-gravité, et pour résoudre un grand nombre d'autres problèmes.

Donnons quelques exemples.

Le réflexe inconditionné peut être simulé par un modèle électrique dans lequel un pont de Weatstone représente un récepteur biologique d'informations, tandis qu'un amplificateur de puissance correspond analogiquement à la moelle épinière et qu'un ampèremètre simule le muscle. Si l'on excite le pont par une stimulation thermique, barique, ou d'autre nature, on voit l'ampèremètre indiquer un passage de courant, ce qui correspond par analogie à la contraction musculaire.

On peut étudier, à l'aide de cette simulation, le comportement de la contraction musculaire sous l'action de la température, de l'accélération ou de la zéro-gravité par exemple.

L'introduction de la méthodologie cybernétique dans la recherche médicale a eu pour conséquence un progrès remarquable dans les acquisitions scientifiques de la biomédecine, tant en ce qui concerne les sujets sains que les malades. C'est la technique des modèles qui a donné le vrai fil d'Ariane. En effet, en construisant des modèles reproduisant les phénomènes de la vie, on est arrivé, par le raisonnement analogique, à l'interprétation de faits biologiques autrement inexplicables.

Et en équipant le modèle d'une mémoire et de dispositifs à contre-réaction, on passe à la simulation de comportements d'organes plus complexes que le simple muscle.

C'est ainsi que l'on a étudié, par cette méthode, le comportement du cœur soumis à l'action de l'accélération, en considérant trois cas : celui du cœur isolé et inerte, celui du cœur isolé et maintenu en vie artificiellement, et enfin celui du cœur vivant in situ.

Le simulateur est du type électronique. Il est constitué, dans le cas du cœur isolé et inerte, par un pont à résistance dont un élément est un détecteur d'accélération, et d'un système à diode qui a pour fonction de simuler le coefficient élastique abiologique du cœur, qui correspond à l'élasticité de celui-ci lorsqu'il est isolé et inerte, et soumis à une force d'accélération. Dans le même modèle se trouve un amplificateur différentiel, inséré entre le pont et le système à diode, qui révèle le comportement du matériel en fonction de l'accélération, à l'égard de l'élasticité.

Le fonctionnement du modèle met en évidence le rapport de non-linéarité, dans un certain spectre de sollicitations, entre l'accélération et la réaction élastique du corps examiné.

Le comportement, sous l'action de l'accélération, du cœur isolé et maintenu en vie artificiellement est imité par un modèle qui comporte, outre les éléments précédents, deux sommateurs. L'un d'eux réunit l'information du type abiologique et celle du type finalisé, tandis que le second réunit l'information provenant de l'accélération et celle ''de retour'' du cœur. De cette manière on réalise une action de contrôle sur la grandeur de sortie, en vue de la poursuite d'un but qui est d'améliorer la défense contre les effets dangereux de l'accélération.

Enfin, la simulation du comportement du cœur vivant et *in situ*, sous l'effet de l'accélération, exige encore deux organes supplémentaires. Le premier représente la fonction ''intelligence'' au second degré : il est constitué par un sommateur qui cumule les signaux provenant du cerveau et du cœur, et les insère dans le cycle. On voit se réaliser, de cette façon, un système de contrôle à boucle fermée. Le deuxième organe supplémentaire est le cerveau, qui fournit un signal de référence pour le comportement le plus rationnel du circuit.

En conclusion, dans l'étude du comportement du cœur sous l'action de l'accélération, on doit envisager trois facteurs de protection : l'élasticité abiologique, la fonction intelligence au premier degré représentée par les centres intracardiaux, et la fonction intelligence au second degré, qui est reliée au centres nerveux. Grâce au mécanisme complexe de la contre-réaction, le cœur réussit à esquiver les dangers de l'accélération en modifiant sa ''configuration d'équilibre'', comme le ferait un individu intelligent qui se verrait menacé par un péril.

Enfin, des recherches récentes ont mis en évidence une fonction d'apprentissage dans le cadre de la protection du cœur vis-à-vis de l'accélération. Cette fonction a été étudiée chez des animaux de laboratoire, et aussi dans les modèles cybernétiques que nous venons de décrire. Les résultats obtenus ont été confirmés par le laboratoire de biologie et par les observations faites sur les cosmonautes.

La méthode des simulations nous a permis, dans un tout autre ordre d'idées, d'expliquer le mécanisme de l'action des virus.

On a découvert que la cellule fonctionne comme une machine cybernétique : elle possède une mémoire, un programme, des unités opérationnelles et des vecteurs d'ordres.

On a pu voir, d'autre part, que le virus ne possède pas d'unités opérationnelles. Il est pourvu seulement d'une mémoire et d'un programme. Pour construire les matériaux nécessaires à ses besoins vitaux, il doit agresser une cellule et y introduire sa mémoire et son programme.

Après que la mémoire et le programme d'un virus ont été injectés dans une cellule, la première information du virus entre en jeu. Elle est constituée par l'ordre de détruire la mémoire et le programme de la cellule. Dès cette destruction accomplie, les unités opération-

A la célèbre Mayo Clinic (Minnesota), une des plus importantes du monde, fonctionne cet appareil électronique qui réalise littéralement le garde-malade automatique. Ce dispositif permet l'enregistrement continu de la pression sanguine en diastole et en systole, du rythme cardiaque, des mouvements respiratoires et de la température. Douze malades peuvent ainsi être surveillés par une infirmière. D'autre part, un avertisseur optique et acoustique entre en action dès que l'un des éléments enregistrés dépasse la limite critique fixée par le médecin.

nelles de la cellule sont soumises à la dictature du virus. Celui-ci se développe, se multiplie, donne naissance à de nouveaux virus prêts, à leur tour, à effectuer de nouvelles agressions aux dépens d'autres cellules, et ainsi de suite.

■

On a pu grouper récemment sous un dénominateur commun, et c'est un autre ordre d'idées encore que nous évoquons maintenant, certaines maladies caractérisées par le fait qu'elles sont la conséquence d'erreurs informationnelles. Grâce à la méthode des modèles on a réussi à dépister de pareilles maladies, qui ont été appelées dysnomiques.

On a défini comme maladies dysnomiques toutes les maladies qui résultent d'erreurs de régulation des constantes biologiques aux niveaux moléculaire, cellulaire, tissulaire, organique ou organismique. Ces maladies sont représentées principalement par les collagénopathies, y compris le rhumatisme avec toutes ses variétés, les maladies causées par auto-anticorps, certaines hémopathies, certaines maladies du système nerveux et du système endocrinien.

Le cancer, lui aussi, pourra être considéré comme une dysnomie si les recherches en cours confirment la présence d'une erreur informationnelle dans son mécanisme pathogénique.

Pour arriver au concept de dysnomie, on est passé par l'étude des trois situations biologiques suivantes : la régulation physiologique correctrice, la régulation ou contrôle défensif, la régulation erronée ou dysnomie.

La régulation physiologique correctrice a essentiellement pour but de reconduire à la référence toute fonction déviée par une cause physiologique, c'est-à-dire qui ne dépasse pas un certain seuil et qui n'est pas de nature pathogène.

La régulation, ou mieux, le contrôle défensif a lieu lorsqu'une cause pathogène apparaît et que le système de régulation déclenche les dispositifs de défense dans le but d'y faire face. L'information, dans ce cas, est acheminée vers les organes de défense où va s'organiser un poste d'envoi de ''messages projectiles'' qui vont frapper directement la noxa ou qui vont solliciter des configurations organiques de défense. De pareilles configurations doivent être comprises comme étant des variations de fonctions biologiques dont le but est d'esquiver les coups de l'agent pathogène ou bien de lui opposer une résistance majeure.

Enfin la régulation erronée, ou dysnomie, est caractérisée par le fait que le signal d'entrée n'est pas interprété correctement. Une information physiologique est alors transformée en information pathogène. Dans ce cas, l'information est acheminée vers les organes de la défense qui organisent les formations de combat mais celles-ci, ne pouvant pas décharger normalement leurs munitions parce qu'elles ne trouvent pas de cibles, les déchargent sur les tissus normaux de l'organisme. Au niveau de ceux-ci il se produit alors une lésion.

C'est exactement ce qui arrive dans les maladies par auto-anticorps. La lésion formée, elle, tend vers la guérison spontanée, à condition que d'autres coups ne lui arrivent pas de nouveau. Mais si l'erreur d'information est mémorisée, il se constitue un circuit dysnomique qui est cause de la réitération indéfinie de la lésion. Et si des circuits à feedback positif interviennent aussi, alors la situation s'aggrave de plus en plus jusqu'à la catastrophe définitive.

Des modèles pour la simulation de la régulation erronée ont été construits au Centre International de Rhumatocybernétique, qui s'occupe, non seulement des maladies rhumatismales, mais aussi des autres dysnomies. Ces modèles ont confirmé l'existence de maladies caractérisées par leur chronicité, leur obstination, et surtout par le fait qu'elles sont contrôlées par des circuits qui se créent sous l'effet d'erreurs d'information.

Ces circuits ne peuvent être considérés en dehors du système nerveux, qui assure le contrôle en dirigeant la correction vers une référence nouvelle qui a pris la place de la référence normale. Il s'ensuit que, pour réaliser cette nouvelle organisation, l'intervention du système nerveux est indispensable. Il

faut que celui-ci soit capable de créer des circuits nouveaux, mais que ce soit cependant encore des circuits logiques.

Les recherches ayant conduit à ce point, il était légitime de se demander si l'on pouvait prévoir l'absence ou bien un taux négligeable de maladies dysnomiques chez les patients affectés de troubles mentaux.

Cette investigation a été entreprise d'abord dans le domaine de la rhumatologie, en partant de l'hypothèse que le rhumatisme obéit à la dictature de rhumatocircuits créés par des erreurs informationnelles. Or, de pareils circuits ne peuvent se former qu'à la condition que la capacité associative des neurones soit intègre.

La comparaison d'observations effectuées dans des hôpitaux psychiatriques et d'observations faites dans des "communautés de contrôle" a montré que la présence du rhumatisme et des autres collagénopathies est tellement basse chez les malades mentaux, qu'on peut la considérer presque comme négligeable. Par contre, le taux de présence d'autres maladies (spécialement la tuberculose) que nous ne considérons pas comme étant de nature dysnomique, ce taux s'est révélé être, chez les malades mentaux, de niveau égal à celui que l'on a relevé dans les communautés de contrôle.

Chez les névrotiques, au contraire, on a observé une propension au rhumatisme et aux autres collagénopathies plus élevée que celle qui a été relevée dans les communautés de contrôle. Cela ne doit pas surprendre puisque l'on sait que, chez les névrotiques, la capacité d'association entre les neurones est remarquablement augmentée.

On a effectué également des recherches de laboratoire en provoquant de l'arthrite expérimentale chez les animaux. Les travaux ont confirmé que pour obtenir cette forme morbide expérimentale, le sujet devait posséder un système nerveux intact. En effet, chaque fois que l'on provoquait des lésions chirurgicales ou des altérations pharmacologiques au niveau du cortex, la maladie expérimentale ne se produisait pas.

Pour compléter cet exposé, il faut mentionner la pénétration de la médecine cybernétique (par l'emploi de machines cybernétiques) dans les domaines de l'automation des examens de laboratoire, de l'enseignement aux élèves, de la lecture des électrocardiogrammes, des électroencéphalogrammes, des coupes histologiques, des clichés radiologiques, et surtout dans le secteur du diagnostic.

En outre, la médecine cybernétique a mis au point des techniques pour la correction des désordres physiologiques, le traitement automatique des dossiers médicaux, la documentation automatique, l'administration des hôpitaux au moyen d'ordinateurs électroniques, etc...

Citons enfin les travaux spectaculaires effectués dans le domaine des prothèses cybernétiques, notamment la commande des membres artificiels par les impulsions nerveuses provenant du cerveau lui-même.

La place nous manque, évidemment, pour nous étendre sur tous ces sujets. Nous voudrions cependant, avant de terminer, ajouter quelques mots concernant l'un d'eux, que nous considérons comme particulièrement intéressant : il s'agit du diagnostic automatique.

Le processus logique qui intervient dans la pose d'un diagnostic médical peut être exprimé sous la forme d'un problème de probabilité conditionnelle. Il vise, en effet, à évaluer la probabilité qu'un événement "existence de telle maladie chez un patient" se vérifie en présence d'un autre événement, qui est "l'observation d'un ensemble de symptômes cliniques et de laboratoire".

Les données statistiques nécessaires à cette évaluation peuvent être rédigées et mémorisées sous une forme (cartes perforées, bandes magnétiques, etc.) qui les rend immédiatement utilisables par un ordinateur électronique. Pour tout groupe de symptômes que l'on communique à la machine, celle-ci fournit alors une liste de maladies possibles avec leurs probabilités respectives. Ceci jusqu'au cas limite où, l'ensemble des symptômes observés étant devenu exhaustif, la certitude d'une maladie donnée serait obtenue.

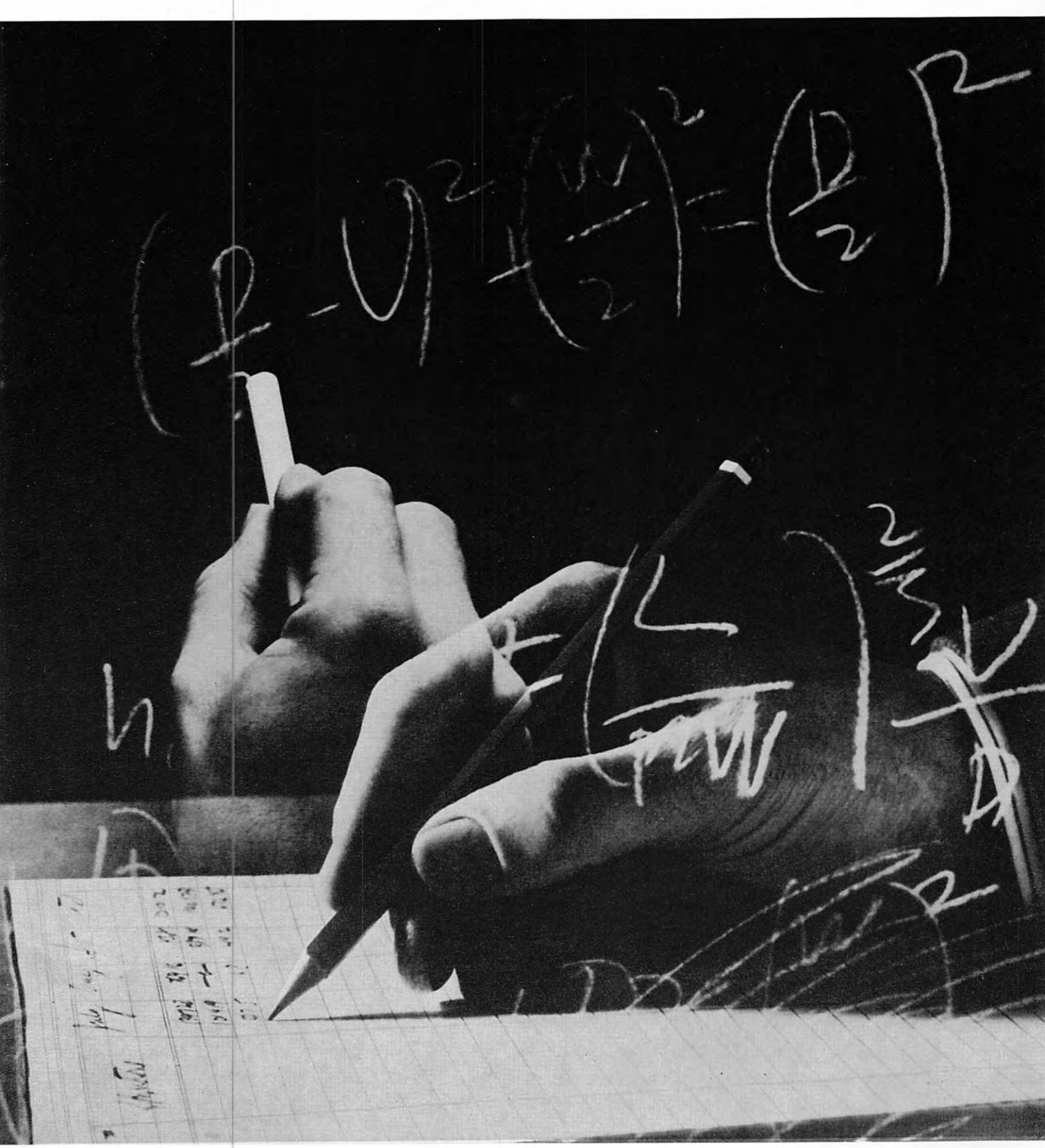
Cette méthode a été employée par Warner et ses collaborateurs dans le cadre de recherches relatives au diagnostic des maladies congénitales du cœur, ainsi qu'au Centre International de Rhumatocybernétique. Les résultats sont extrêmement encourageants.

Mais on peut aller plus loin et dépasser le stade du diagnostic automatique, par la formulation automatique du traitement lui-même. C'est ainsi que des ordinateurs programmés pour fournir, dans chaque cas, la prescription thérapeutique "optimale" fonctionnent déjà de divers côtés.

Au Centre International de Rhumatocybernétique on a utilisé cette technique pour le choix du traitement relatif à une série de sujets atteints de sciatique disco-radiculaire. On a enregistré dans la mémoire d'une machine les informations concernant 1200 sujets, étudiés soit cliniquement soit par le laboratoire, et suivis pendant tout le cours de la maladie. C'est en exploitant cette connaissance de base que la machine donnait ses instructions pour les cas nouveaux qu'on lui présentait : traitement médical, immobilisation orthopédique, traitement chirurgical, etc.

Nous conclurons en disant que la médecine cybernétique met à la disposition du médecin des instruments très puissants pour la recherche scientifique et pour ses applications. De plus, elle donne au médecin une logique nouvelle qui lui permet de mettre "en orbite" toutes les données de sa connaissance, et d'atteindre son but avec le maximum d'efficacité.

Dr Aldo MASTURZO



Toujours plus de science
pour toujours plus de technique...

BP review est édité par BP Belgium s. a.

JAN VAN RIJSWIJCKLAAN 162 - ANVERS