

CERVEAUX SANS CORPS



C'est l'aboutissement final d'un ensemble d'études et d'expériences passionnantes pour synthétiser le système nerveux de l'homme.

Par B. FRISCH

VOTRE ordinateur est-il paresseux ? A-t-il trop tendance à buter sur les problèmes difficiles ? Le Dr Peter Kelly, directeur de l'Advanced Technology Laboratory de Philco, a offert une solution ahurissante : brancher dessus un cerveau vivant pour lui donner une motivation (impulsion propre).

Non, nous n'en sommes pas encore là, mais les savants se servent déjà de l'électricité du système nerveux pour la commande des machines. Ils ont commencé par le bout des doigts et remontent progressivement vers le cerveau.

Cela a commencé pendant la dernière guerre mondiale, alors qu'il y avait tant d'amputés. On réalisa alors beaucoup de progrès en matière de mains et de bras artificiels. Mais leur principe resta le même. Un câble était tendu à partir d'un harnais d'épaule vers un crochet. Unhaussement d'épaule ferme le crochet, et sur certaines prothèses, plie le coude.

Puis, en 1950, les techniques prothétique (organes artificiels) et orthopédique (appoints pour membres paralysés) pénétrèrent dans un nouveau domaine — celui des servo-mécanismes.

Les mouvements du muscle véritable ont été reproduits avec beaucoup de réalisme par le muscle McKibben mis au point à l'hôpital Ranchos Los Amigos, à Los Angeles. Du nylon tressé recouvre une tube en caoutchouc. Quand on gonfle le tube par un gaz à forte pression, la gaine de nylon se raccourcit. Un muscle McKibben de 13 cm de long et 12 mm de diamètre tire avec une force de 45 kg.

Mais pour la plupart des applications, on employa des pistons se déplaçant dans des cylindres parce qu'on pouvait appliquer ainsi des pressions plus fortes, donc obtenir des puissances plus grandes pour un même poids. Un cylindre pas plus gros ni plus long qu'un pouce peut exercer une force de 25 kg.

Au cours de ces dernières années, des dispositifs légers fonctionnant par batterie conçus pour le matériel spatial, ont en partie supplanté les mécanismes fonctionnant au gaz. Les derniers modèles de bras artificiels fonctionnent avec de petits moteurs à courant continu, à grande vitesse de rotation et actionnant des vérins. On peut faire fonctionner deux bras avec 300 gr de batteries cadmium-nickel.

Les bras à servo-mécanisme peuvent faire beaucoup plus de choses que l'ancien système àhaussement d'épaule. Un bras réalisé par l'American Institute for Prosthetic Research peut exécuter neuf mouvements différents vers l'avant et l'arrière. Cela créa un nouveau problème : comment commander ces mouvements.

On essaya toutes sortes de choses. Les saillies musculaires, la dilatation de la poitrine et de l'abdomen, l'extension de l'omoplate — on s'est servi de tout cela pour actionner des valves minuscules ou des microcontacts. Dans un certain cas, on a harnaché un homme de telle manière que lorsqu'il faisait tourner la protubérance qu'il portait à l'extrémité de son épaule, il actionnait une valve à quatre positions. La solution suprême pourrait bien être celle qu'a étudiée le Case Insti-

tute of Technology de Cleveland. Des mouvements de sourcils commandent quatre mouvements de bras. En écarquillant les yeux de surprise, on fait un mouvement. En fronçant les sourcils, on en fait un autre. Les deux autres sont commandés par un clignement de l'un ou l'autre œil.

L'ennui, c'est qu'il faut être un virtuose pour pouvoir faire en même temps tous ces mouvements : gonfler l'abdomen et la poitrine, faire tourner l'épaule et avoir l'air surpris. Les chirurgiens se sont aperçus qu'un amputé qu'on ne munit pas d'un bras artificiel dans un délai de 18 mois apprend à être manchot. Il ne prendra plus la peine d'apprendre des mouvements compliqués et se contentera de porter son bras pour l'apparence.

De plus, les mouvements qui servent à commander n'ont rien de naturel. Les chirurgiens ont essayé de faire utiliser par l'amputé les muscles qui lui restent. Presque tous les muscles qui commandent les mains se trouvent dans l'avant-bras, ceux qui commandent l'avant-bras se trouvent à la partie supérieure du bras, et ceux qui actionnent cette dernière sont portés par les épaules. Un homme qui a perdu son avant-bras possède encore les muscles qui servent à le mettre en mouvement. De sorte que le chirurgien n'a qu'à inciser les biceps, garnir la blessure de peau et greffer une cheville dans la chair. En tirant sur la cheville, l'amputé peut soit plier par ses propres forces un coude artificiel soit commander un coude assisté. Mais les tunnels de cinéplastie, comme on appelle ces incisions, sont difficiles à maintenir propres et sont souvent infectés. On ne les fait plus guère aux Etats-Unis.

Commande électrique

L'idée était en principe bonne : commander le bras artificiel avec les mêmes muscles qui servaient à commander le bras naturel. Vers 1955, des savants yougoslaves, russes, britanniques et américains, ont fait des expériences pour dériver l'électricité de ces muscles pour les mouvements.

Une réaction chimique envoie une décharge électrique du cerveau qui passe par la moelle épinière et un nerf moteur pour actionner le muscle. Le nerf se ramifie à son extrémité pour rejoindre des douzaines, quelquefois des centaines de fibres musculaires. La décharge franchit l'intervalle et parcourt toute la longueur des fibres. Quelques millièmes de seconde plus tard, la fibre subit une seule contraction. Chaque nerf forme, avec les fibres musculaires qu'il actionne, un ensemble moteur.

Deux électrodes d'argent de la taille d'un bouton de chemise, branchés sur le muscle, peuvent dériver la décharge. Le voltage des signaux électromyographiques (E.M.G.) est d'environ $1/10^6$ de volt et à peu près proportionnel aux tensions musculaires.

En 1955, les chercheurs britanniques ont réalisé un crochet mû par un électro-aimant actionné par la tension musculaire. Lorsque l'amputé serre le poing en imagination, la tension musculaire s'élève jusqu'au moment où elle déclenche l'électro-aimant qui fait fermer brusquement le crochet. Lorsqu'il se détend complètement, le crochet s'ouvre. Le successeur de ce crochet est l'une des meilleures mains commandées par E.M.G. qu'on trouve en ce moment. Les docteurs Alastair Bottomley et Terence Cowell de l'hôpital St-Thomas, à Londres, branchent une paire de dérivation au-dessous de l'avant-bras, sur les muscles fléchisseurs qui ferment la main, et une autre paire en dessous de l'avant-bras, sur les muscles extenseurs qui ouvrent la main. La différence des deux tensions contrôle la vitesse de fermeture. Une fois que le crochet a saisi, la différence de tension commande la force de la poignée de main.

Une idée similaire a été appliquée au coude par une équipe de chirurgiens de la Liberty Mutual Insurance Company et d'ingénieurs de M.I.T. Ils ont dosé la tension des biceps et des triceps pour régler à la fois la vitesse du mouvement et l'effort de soulèvement.

Des signaux forts et clairs

Les signaux provenant de deux muscles éloignés l'un de l'autre furent captés forts et clairs. Ceux qui proviennent de muscles superposés ou entrelacés se fondent en un brouhaha confus dans lequel on ne peut distinguer aucun signal isolé. Walter Wasserman et ses collaborateurs du Philco-Bio Cybernetics Laboratory, estimèrent qu'une oreille entraînée doit pouvoir distinguer une modification à peine perceptible dans la tonalité du brouhaha tandis que les groupes de muscles exécutent des mouvements différents. Ils ont enregistré les configurations E.M.G. produites par six muscles de l'épaule et les ont soumises à un ordinateur qui apprit à distinguer entre les mouvements. Cette discrimination fut intégrée dans des circuits électriques simples et miniaturisés.

Philco appliqua d'abord cette technique à un problème simple. Un bras amputé juste en dessus du coude possède encore deux des trois muscles qui commandent la torsion du poignet. En faisant passer les signaux provenant de quatre électrodes greffées sur le bras supérieur par des circuits de discrimination, Philco a réalisé un bras qui pivote au poignet et se plie au coude.

Branché sur un non amputé, les circuits peuvent déceler les mouvements imminents bien avant que le bras ait le temps d'exécuter le mouvement.

Sur les avions de chasse les plus modernes, on peut câbler le pilote sur un circuit E.M.G. qui abrège le délai de réflexe pour l'exécution des manœuvres.

Les Yougoslaves ont intégré des électrodes dans des montures de lunettes, de sorte que



LE PEDIPULATOR, que l'armée U.S. est en train de mettre au point, suit les mouvements de son conducteur.

les signaux E.M.G. des muscles des sourcils actionnent des freins assistés. On peut ainsi réduire de 75 % le temps nécessaire pour appliquer les freins.

Le client de Philco, l'O.N.R. (Office of Naval Research) a des ambitions qui vont bien au-delà de la direction assistée et des bras artificiels. En même temps, il a commandité la mise au point d'un exosquelette par les Cornell Aeronautical Laboratories. L'exosquelette est une armature métallique qui pèse 16 kg et se harnache autour des bras, des jambes, de la poitrine et des hanches d'un homme. L'O.N.R. fait en ce moment des devis pour la mise au point d'une commande E.M.G. de l'exosquelette afin d'en faire un amplificateur de mouvements humains. Dirigé par des signaux E.M.G., l'exosquelette à servo-mécanismes suivra les mouvements de celui qui le porte et le rendra trois fois plus fort. Un homme peut ainsi devenir un engin de manutention dans les régions isolées. Un explorateur spatial pourra surmonter la pesanteur sur Jupiter qui est deux fois et demie plus grande que sur terre. La pesanteur est plus faible sur la lune que sur la terre mais un astronaute pourrait y avoir besoin d'un amplificateur d'effort pour les mouvements dans son scaphandre spatial pressurisé.

Pédipulateur

A une échelle plus grande, le General Electric Advanced Technology Laboratory est en train de construire un robot de 6 m de haut, appelé pédipulateur. Le robot imitera les mouvements d'un homme qui se tient à l'intérieur. Bien qu'il soit commandé par des répéteurs mécaniques basés sur les mains télécommandées de l'inventeur Ralph Mosher, utilisées dans les installations d'énergie atomique, le pédipulateur semble parfaitement adapté pour l'E.M.G. L'armée U.S. paye la mise pour le pari qu'un robot qui

marque peut passer là où un camion ou un char s'enliserait.

La plus importante contribution de Mosher, c'est le sens tactil dont il a équipé le conducteur du pédipulateur. Sans cette perception, le Pédipulateur tomberait en avant. Les répéteurs qui transmettent les mouvements de l'opérateur lui transmettent également, très atténuées, les résistances rencontrées par les membres du robot.

Un amputé qui dirige par exemple une pelle à vapeur, doit se fier entièrement à sa vue. S'il ferme les yeux, il ne sait plus où se trouve son bras et ce qu'il fait.

L'O.N.R. a subventionné des recherches à l'Université de Virginie qui peuvent servir à fournir à l'amputé cette information. Des vibreurs appliqués contre la peau utilisent des codes basés sur l'intensité, la durée, l'emplacement et autres variables. On peut même déterminer une direction. Si un vibreur placé à droite s'arrête environ 1/10^e de seconde avant un autre placé à gauche, on a l'impression que quelqu'un vous tire un doigt sur l'abdomen de droite à gauche. Un homme qui portait cinq vibreurs sur sa poitrine a pu arriver à prendre jusqu'à 38 messages en code sensoriel par minute.

Des questions difficiles à résoudre

Jusqu'à présent, on n'a pu arriver à diriger les machines en remontant plus loin le système nerveux vers le cerveau. Les fibres musculaires sont volumineuses et nombreuses. Elles amplifient les signaux provenant du système nerveux. Les décharges d'un nerf quelconque sont brouillées par le bruit de

L'EXOSQUELETTE, manœuvré à l'aide de l'électricité musculaire, triple la force d'un homme.



fond produit par les nerfs et les muscles voisins. Une fois qu'on a mis une fibre nerveuse à nu et qu'on y a touché une aiguille d'électrode, on ne sait plus ce que son signal signifie.

Le langage électrique du cerveau est encore plus mystérieux pour nous. On a pourtant fait quelques explorations. Westinghouse a bien essayé d'interpréter les ondes cérébrales en vue d'une communication directe de cerveau à cerveau, mais a dû y renoncer.

Aux laboratoires de recherches de l'U.S.A.F. à Cambridge, le Dr Edmond Dewan a réussi à transmettre des messages rudimentaires avec des ondes cérébrales. Des électrodes appliquées à la tête, captent des pulsations fortes et espacées (10 périodes) appelées ondes alpha, quand nous sommes en train de cogiter, et des ondes plus faibles, plus rapides et irrégulières, quand notre attention est éveillée. Dewan ferme les yeux pour établir le rythme alpha et les ouvre pour le faire cesser. Des circuits électriques branchés sur les électrodes, enregistrèrent la différence et firent clignoter une lampe ou déclenchèrent une sonnerie. Dewan et ses collaborateurs purent transmettre des messages à la cadence d'une lettre toutes les 20 secondes. Il reconnaît que comme moyen de transmission, on peut facilement trouver mieux. Il crut d'abord que des gens frappés de paralysie pourraient s'exprimer de cette

manière, mais il s'aperçut que personne n'est paralysé au point de ne pouvoir faire bouger quelques muscles pour se faire comprendre plus facilement.

Régulateur de cadence cardiaque

On a d'ailleurs commencé à utiliser les signaux électriques sur le système nerveux. Le régulateur de cadence cardiaque en est un exemple. Dans ce domaine, le Case Institute étudie en ce moment un moyen pour envoyer des signaux E.M.G. en se servant des muscles de l'épaule pour actionner les muscles de doigts qui sont indemnes mais n'ont plus de nerfs.

L'excitation sensorielle provenant directement de l'électricité nerveuse joue un rôle essentiel dans l'ordinateur personnalisé de Kelly. Kelly a fait remarquer qu'un cerveau intégré à un ordinateur peut formuler des jugements abstraits. Pour prendre une décision, il lui faudra des informations. Pour faire de nouveaux progrès dans le contrôle direct des machines par le système nerveux, il faudra probablement créer des répercussions sensorielles pour ce dernier. Mais une fois que la machine a commencé à envoyer des signaux au cerveau ou aux muscles, on peut se poser la question : qui porte la culotte ?