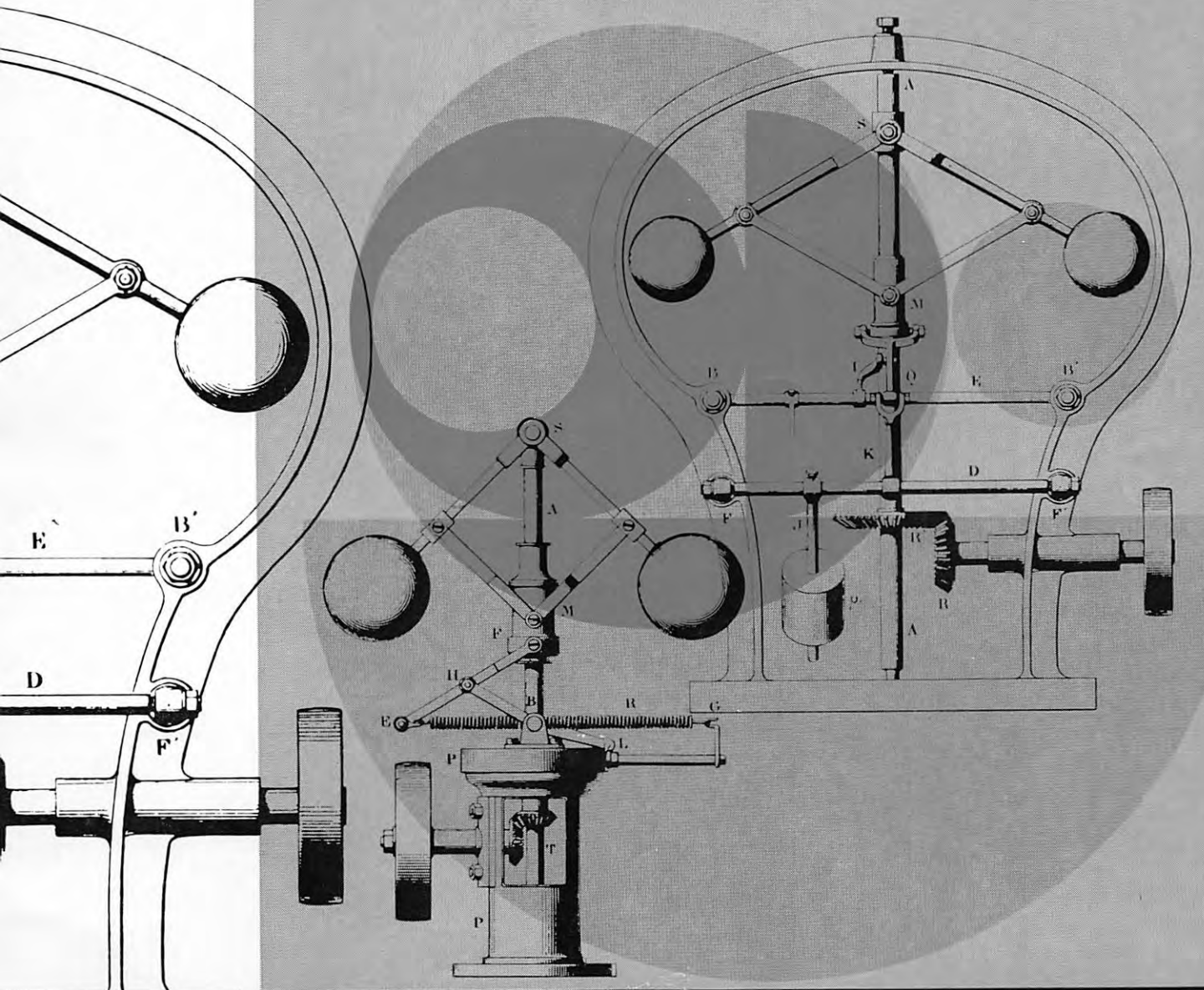


cyber. la netique



PREVIEW/juin 67

n° 26

trimestriel

2 les machines intelligentes

n° 26 / juin 1967 / trimestriel

la cybernétique

Message de M. Roger De STAERCKE

Président de la Fédération des Industries Belges.

Intelligence artificielle: mythe ou réalité?

par le Dr Jacques SAUVAN

Chef du Département Cybernétique de la Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation - France.

L'automate joueur d'échecs

par Max EUWE

Professeur à la "Katholieke Hogeschool" de Tilburg - Pays-Bas.

Automation et Cybernétique

par Robert J. VAN EG TEN

Ingénieur civil.

Chef du Laboratoire Central d'Electronique de l'Union Chimique belge.

Des machines qui apprennent

par Gordon A. PASK

Directeur de la System Research Ltd - Richmond - Grande Bretagne.



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'Unesco; I B M; Chrysler; Bell System; General Motors Research Laboratories; Paul Almas; Capron; Cinéac et Holmès Lebel.

Les maquettes typographiques ont été conçues et exécutées par

M. Piet SERNEELS,

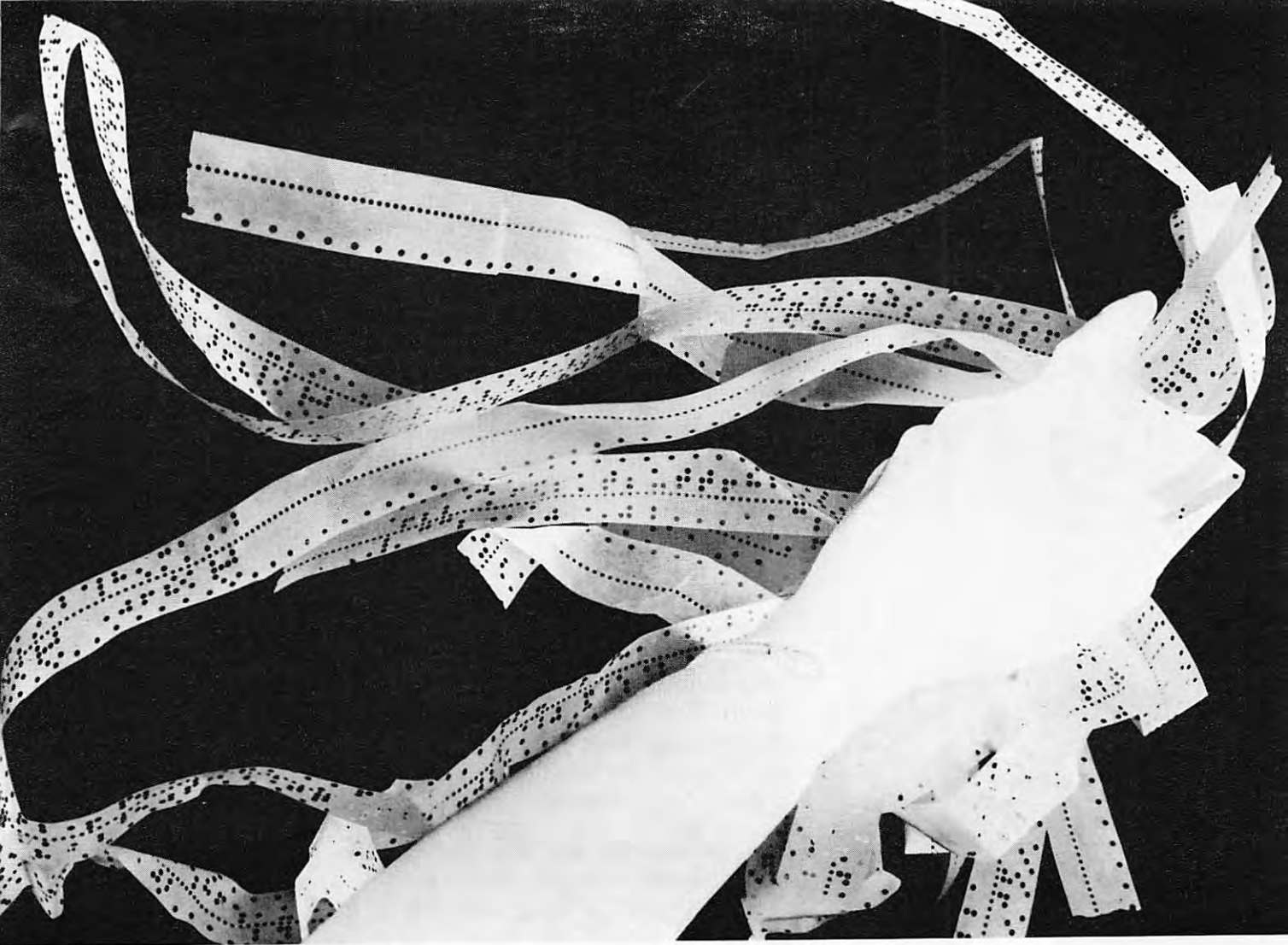
Professeur à l'Académie Royale des Beaux-Arts d'Anvers.

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

Notre couverture

Le régulateur à masses tournantes est l'ancêtre des systèmes autogouvernés de l'industrie moderne. Le maquetiste en a réalisé cette évocation au moyen d'éléments empruntés au Recueil des Travaux scientifiques de Léon Foucault publié en 1878, à Paris, par la maison Gauthier-Villars.





L'information, symbole de la deuxième révolution industrielle

Message de M. Roger De Staercke

Président de la Fédération des Industries Belges

Je suis toujours très surpris d'entendre, dans cette seconde moitié du 20ème siècle, aborder par bien des gens les problèmes de la cybernétique et, singulièrement, ceux des machines dites « intelligentes », avec une méfiance tenace. C'est un peu comme si l'on se retrouvait aux débuts de la grande civilisation industrielle, et que l'on assistait à une résurgence de cette peur incontrôlable que l'homme a ressentie devant l'avènement de la machine. Or, le temps qui s'est écoulé depuis la destruction systématique des métiers de Jacquard par les ouvriers du textile lyonnais et depuis les accusations passionnées, et souvent partiales, de certains intellectuels et écrivains anglais du 19ème siècle, a démontré que l'intrusion de la machine dans la vie de l'homme constitue un incontestable progrès dans la marche incessante et volontaire du développement de ses capacités à inventer et de ses possibilités à réaliser. Non seulement ne peut-on pas aller en arrière, mais encore ne le voudrait-on pas. Et c'est bien compréhensible.

Les découvertes de l'électronique, qui sont largement à la base de la cybernétique appliquée, sont aussi des découvertes humaines. Et je ne crois pas très sincèrement qu'il faille les considérer, elles et leurs prolongements - ces « machines intelligentes » justement - comme des menaces. C'est, à mon avis, trop solliciter les plus discutables des conventions passéistes que de refuser à l'homme, en définitive, l'intelligence suffisante à garder le contrôle de systèmes qu'il a lui-même conçus et érigés. Bref, à l'intelligence de la machine répond toujours l'intelligence de l'homme et, j'en suis convaincu, l'intelligence de l'homme garde le pas sur celle de la machine parce que, et avant tout, la pensée humaine est pensée créatrice.

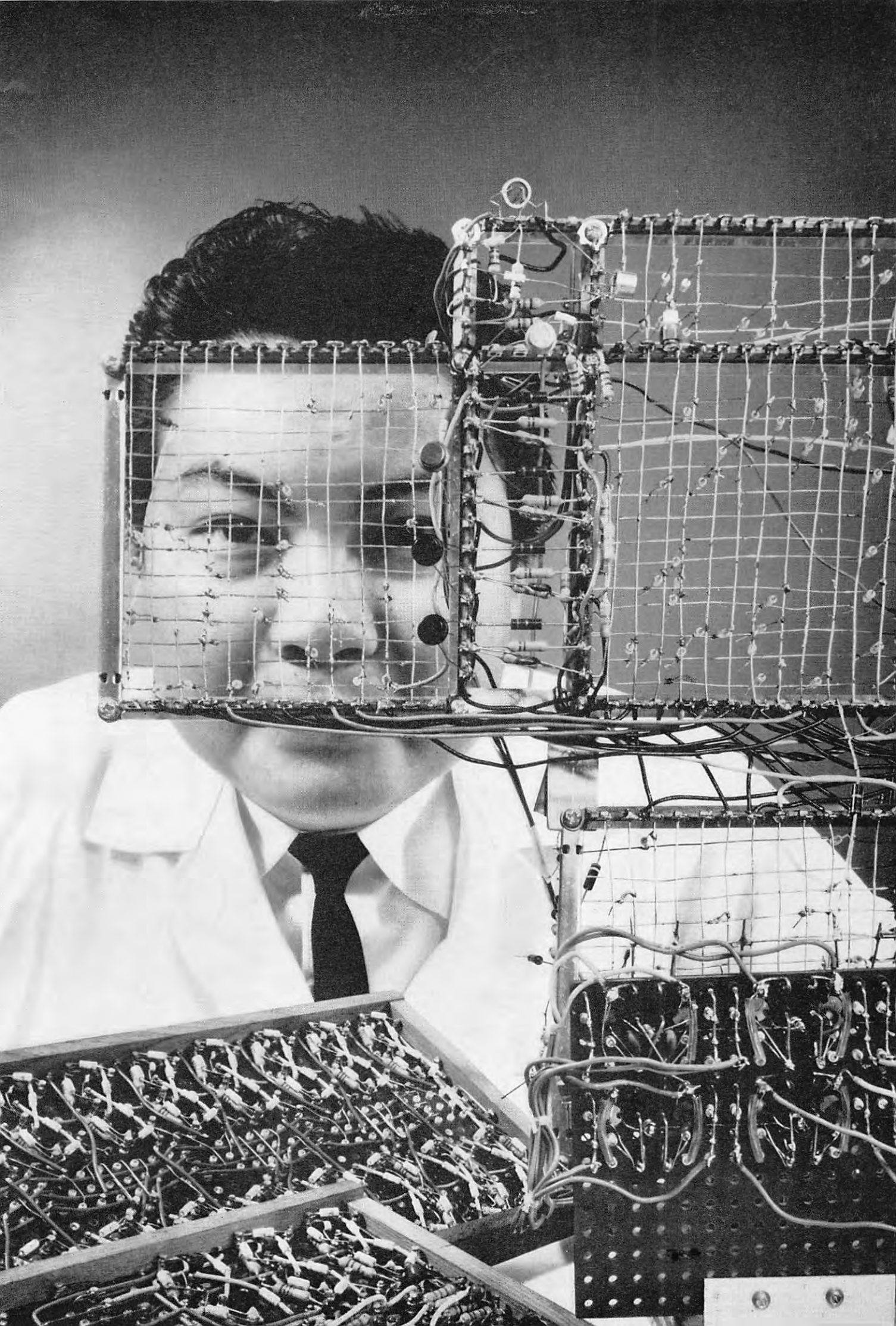
La machine n'en est pas là. Ou pas encore. Peut-être à son tour deviendra-t-elle créatrice? Comme le disait fort bien M. Donald N. Michael, directeur du Peace Research Institute, nous ne pouvons en décider parce que nous ne connaissons pas, vraiment, la nature de la pensée créatrice. Mais dès lors, je crois pouvoir tenir pour probable, du moins, que l'avenir de la machine à cet égard est conditionné par les découvertes qu'il nous reste à faire, nous hommes, en ce domaine.

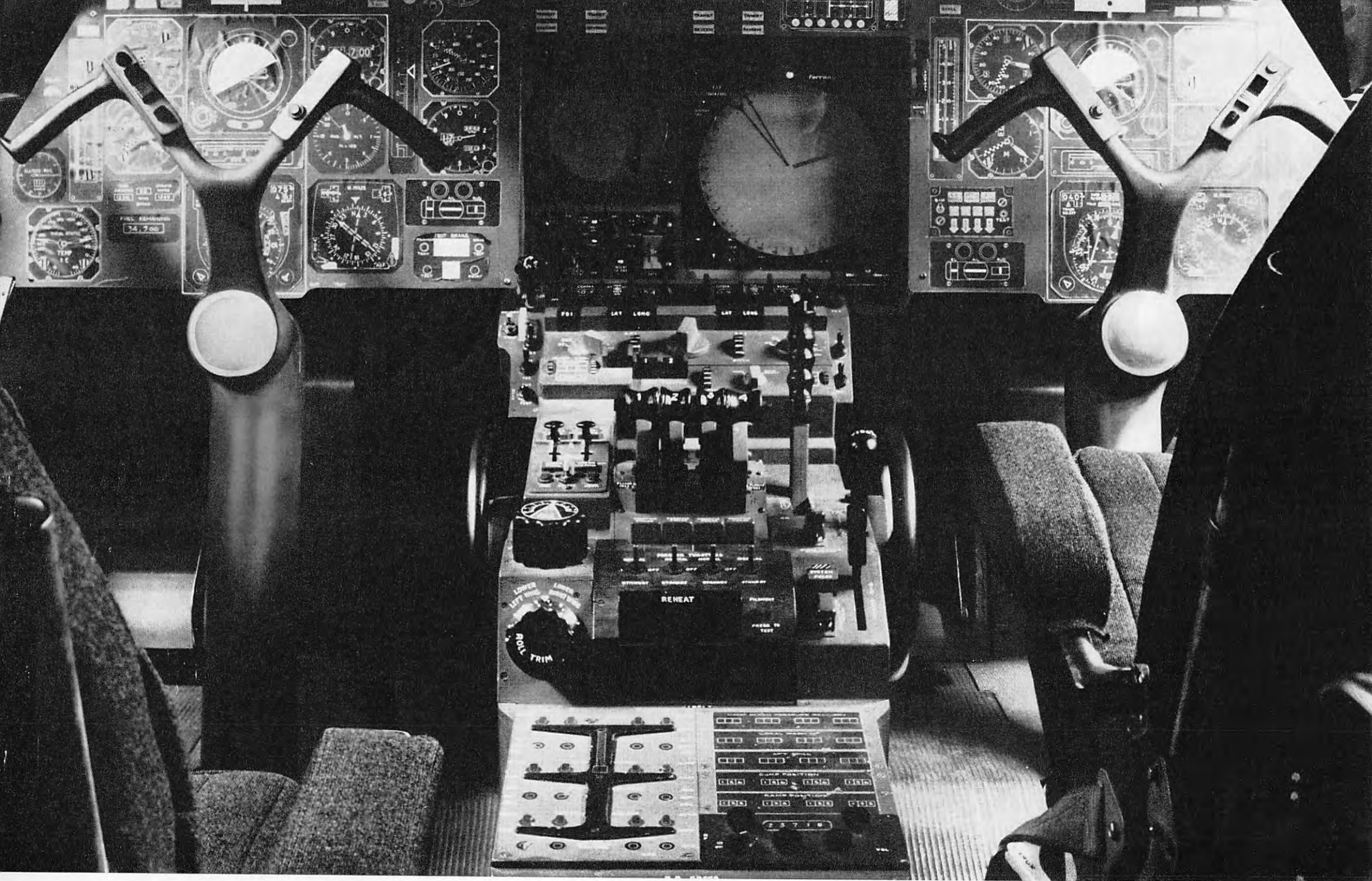
Affirmer la constance de la suprématie de l'homme sur la machine, ne veut cependant dire en rien qu'il n'y ait pas un certain nombre de questions posées. Elles se posent, à mon sens, au moins autant socialement qu'économiquement. L'avènement de la cybernétique, le développement de l'intelligence des machines, c'est une révolution de la structure de la société, sans doute, même avant qu'une révolution des conditions économiques. Le sujet, je le sais bien, est vaste et il est exclu que je l'esquisse dans les limites d'un message comme celui-ci. L'influence des machines intelligentes, en effet, dépasse de très loin le seul domaine industriel, même si on le considère dans tous ses aspects contemporains et dans ses développements si divers. Là aussi, les choses ont changé...

Ce qui me paraît toutefois devoir être souligné ici, c'est que l'on doit réfléchir, dès maintenant, aux modifications structurales de la société, et notamment de l'industrie, que va apporter inmanquablement l'expansion de la cybernétique appliquée. Je crois en effet, que nous avons de nouvelles responsabilités qui émergent, comme on l'a déjà dit, du fait même que la cybernétique « est à la fois cause et conséquence de changements ». Ces changements seront importants et sans doute décisifs, au moins autant que le furent ceux qui assurèrent l'expansion de la civilisation technologique telle que nous la connaissons aujourd'hui. L'industrie y est attentive à bien des égards - et c'est compréhensible : si elle est aussi bien productrice que cliente de la cybernétique, elle est également impliquée dans ses multiples conséquences.

Roger DE STAERCKE

►
Le vaisseau spatial de l'avenir sera dirigé par un ordinateur électronique qui fera le point en observant les étoiles et dirigera l'engin en se basant sur ses propres mesures. Notre document montre un élément de cette machine.





Dans le cockpit de l'avion supersonique : pilotage automatique du Concorde.

''Les métaphysiciens construisent leurs systèmes avec les débris méconnaissables des signes par lesquels les sauvages exprimaient leurs joies, leurs désirs et leurs craintes.

...c'est avec les restes effacés et dénaturés d'images antiques et d'illusions grossières qu'on représente l'abstrait...''

Anatole FRANCE

''Toute définition de la liberté donnera raison au déterminisme.''

BERGSON

''C'est donc seulement du point de vue d'un homme que nous pouvons parler d'espace... Si nous sortons de cette condition subjective, sous laquelle seulement nous pouvons obtenir une intuition externe... la représentation de l'espace ne signifie rien du tout.''

KANT

Dr Jacques SAUVAN

Chef du Département Cybernétique de la Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation (France)

INTELLIGENCE MYTHE OU ARTIFICIELLE REALITE ?

Le concept d'intelligence est-il lié à une fonction de la pensée humaine qui ait une existence réelle?

L'expression "Intelligence artificielle" est-elle licite en dehors de toute possibilité de vérité?

Voilà, semble-t-il, les deux préalables à toute enquête à ce sujet.

On aborde le concept d'intelligence de deux façons, soit de la manière classique, comme l'ont toujours fait les psychologues de formation purement philosophique, soit d'une manière qu'on peut appeler behavioriste, comme le font les chercheurs généralement anglo-saxons, qui imaginent des "machines intellectuelles" et les comparent aux productions de la nature. Dans ce dernier cas il ne s'agit plus d'intelligence, mais de comportement intelligent.

Tous les grands philosophes ont étudié le phénomène "intelligence" par la méthode introspective. Ils ont, du fait de la fonction humaine de conscience réfléchie, constaté que leur propre cerveau avait la possibilité de résoudre d'une façon étonnamment efficace et souple un certain nombre de problèmes. Ils sont arrivés à la conclusion intuitive

qu'il existait un mécanisme particulier de leur propre pensée qui était responsable de cette habileté. Ils se reconnaissaient donc "intelligents".

Un second pas, extrêmement audacieux, si l'on y songe bien, était d'attribuer la possibilité d'être intelligents à leurs semblables. C'est la procédure d'intersubjectivité, elle se justifie par une analogie générale anatomo-physiologique et de comportement. Mais il faut bien comprendre qu'il y a là une attribution qu'on ne peut rigoureusement justifier. Il est d'autres exemples de problèmes suscités par la démarche intersubjective :

Dans l'Egypte archaïque, il a fallu deux soulèvements extrêmement sanglants pour que les pharaons, les prêtres et les nobles accordent aux fellahs la possession d'une âme. Le même problème fut également soulevé au Concile de Macon en ce qui concerne les femmes.

Dans cette perspective on voit bien que l'élaboration du concept relatif à une fonction intellectuelle unique, définie, nommée intelligence ne concerne strictement que la pensée de l'homme. Parler d'intelli-

Il importe de faire la distinction entre intelligence et comportement intelligent. L'intelligence concerne l'homme, mais il est cependant légitime de parler d'un comportement intelligent des machines. Il s'agit là d'un jugement à porter sur des performances sans que l'on se soucie de la nature des systèmes qui les réalisent.

gence des machines est proférer une absurdité au sens logique du terme, comme le serait par exemple la demande d'inscription au registre d'Etat Civil de la naissance d'une amibe ou de la mort d'une étoile. Il ne peut s'agir que d'abus de langage.

Par contre il est légitime de parler de comportement intelligent. Il s'agit là d'un jugement à porter sur des performances sans se soucier du système qui les réalise. Encore faut-il faire une réserve importante, car le test dit de Turing est sujet à caution. Turing déclare : si un observateur ne peut distinguer si un certain type de performance a été réalisé par un homme ou par une machine, on dira que la machine possède la faculté que l'homme a manifesté en réalisant cette performance. Or les spécialistes du comportement animal savent bien que de véritables stratégies, visiblement équivalentes, ne sont pas élaborées par les mêmes processus cérébraux selon qu'il s'agit d'insectes, de vertébrés supérieurs, ou de l'homme. Un navigateur, pour aller de Suède au Cap Horn, n'emploie pas les mêmes procédés "mentaux" qu'un grand migrateur.

On essaiera de tourner le problème en disant qu'il suffit de faire suffisamment d'épreuves différentes pour mettre en évidence ce fait. Le test de Turing perd alors toute sa signification. On retombe dans l'écueil de l'analyse du contenu d'une "boîte noire" en faisant varier ses entrées et en analysant ses sorties. Mais cette analyse est humainement impossible. Imaginons deux boîtes noires, apparemment identiques. Il y a pour chacune une entrée et une sortie. On teste ces boîtes un certain nombre de fois, toutes deux répondent de la même façon, par exemple par un même signal de sortie pour chaque signal d'entrée. On les déclarera de structure interne identique. Or l'une d'entre elle contient un compteur d'une capacité de 10^{100} . Une fois ce compteur rempli, le dernier signal déclenche une explosion extrêmement violente. Ces deux boîtes sont fondamentalement différentes, mais aucun humain ne pourra jamais le déceler par la méthode employée. Il en est probablement de même, avec infiniment plus de raffinements, pour le fonctionnement du système nerveux central.

Le mieux est alors de se rallier à la proposition de J. Pitrat **qui définit ainsi le domaine de l'intelligence artificielle : pour qu'un appareil puisse lui être rattaché, il "doit résoudre des problèmes sans que son programmeur soit sûr a priori qu'il le pourra et sans qu'il sache comment il y arrivera"**.

On voit cependant que cette définition est circonstancielle, puisqu'il suffit de connaître la solution pour qu'elle sorte du domaine réservé à l'intelligence. C'est d'ailleurs ce qui se passe pour la connaissance humaine. Evidemment cela deviendra un événement considérable lorsqu'on ne "comprendra pas" la solution donnée par la machine. Mais là encore il faut s'en référer à notre expérience actuelle. L'homme crée une mathématique, il insère un problème dans ses engrenages, il sort une solution correcte. Le mathématicien peut-il affirmer qu'il en comprend parfaitement toutes les étapes et tous les enchaînements ? Peut-on en conclure que ces trente ou quarante livres de mathématiques que j'ai sous les yeux et qui constituent cette "mathématique" ont en propre une faculté d'intelligence ? Cette collection de livres est bien une machine comme une autre.

Nous sommes donc toujours en train de nous débattre et de nous épuiser dans un labyrinthe. On doit pouvoir progresser à partir des deux remarques suivantes :

J. Pitrat distingue à juste titre deux familles de recherches : celles dites sur l'intelligence artificielle et celles qui ont trait à la simulation de l'intelligence humaine.

D'autre part il convient de faire intervenir comme performances deux caractères assez spécifiques des manifestations intelligentes : la soudaineté d'apparition des solutions - le transfert d'un schème d'exploration antérieurement expérimenté à un problème entièrement nouveau, la possibilité de faire abstraction de certains aspects du problème posé, de façon à pouvoir effectuer ce transfert de schème - et la propriété d'imagination.

L'intelligence artificielle constitue certainement l'un des domaines les plus explorés, mais il ne fait plus guère référence à la pensée humaine. On recherche dans ce cas à résoudre des problèmes qu'il n'est

pas possible d'aborder d'une façon logique. On utilise alors n'importe quel moyen sans se soucier de savoir s'il est utilisé par le cerveau, et sans non plus se soucier de savoir si ce problème est à l'échelle de la pensée.

A ce compte tout problème pour lequel on utilise la méthode de Monte-Carlo prouverait l'„intelligence" du générateur de nombres aléatoires qui contribue à sa solution.

De toute façon on ne parlera pas ici de ces réalisations appelées par abus de langage intelligence artificielle. Ce qui se réfère au titre proposé est réellement les systèmes simulateurs de l'intelligence.

Mais pour qu'il y ait simulateur d'intelligence, encore faut-il avoir défini cette faculté et en avoir démontré la réalité.

Qu'est-ce que l'intelligence ?

Personne n'a jamais pu obtenir un accord sur une définition. Pour Pieron il s'agissait de la capacité de résoudre des problèmes, pour Einstein celle de les formuler, pour Bergson il s'agit de la faculté de fabriquer et d'employer des instruments inorganisés, on trouve aussi la faculté de comprendre, ou bien celle de prévoir le futur à partir du passé (inférence inductive), Barbizet en fait la possibilité d'utiliser efficacement des schèmes d'exploration à des situations originales.

On a tenté de remplacer cette notion quasi insaisissable par la détermination d'un certain facteur G. Il est fixé à la suite d'un certain nombre d'épreuves susceptibles de simuler un certain nombre d'expériences vécues faisant appel à l'intelligence. Selon la remarque de Carpentier, ces épreuves sont choisies relativement à un certain type de culture et ne peuvent tester un individu ayant acquis une culture différente. Il s'agit donc plutôt de mesurer l'adaptation à un certain type de vie et de pensée.

En réalité il semble bien qu'il soit nécessaire de démembrer ce concept. Il y a des individus qui ont des facultés d'analyse, d'autre de synthèse, des individus hautement logiques et des individus intuitifs, il y a des imaginatifs et des associatifs, des spontanés ou des réfléchis. Chacune de ces facultés peut être un

facteur important de ce que l'on appelle un acte intelligent. Mais il n'existe pas d'exemple d'individu ayant fait uniformément preuve d'intelligence dans ses études, puis dans sa profession, dans la conduite de ses propres affaires et dans son comportement social, dans son comportement familial. Il n'existe pas d'exemple de réussite éclatante totale. C'est pourtant ce que l'on devrait constater si l'intelligence était "une" et si elle saupoudrait indifféremment tous les comportements d'un homme.

Ce qu'il nous reste à faire ici c'est de voir si les différentes performances que nous venons d'énumérer se trouvent reproduites par des machines. De telles machines sont beaucoup plus rares qu'on veut bien le dire. On évoquera d'abord les machines réellement construites, ensuite on pourra examiner le cas des programmes d'ordinateurs simulant l'intelligence.

Les matrices de Steinbuch.

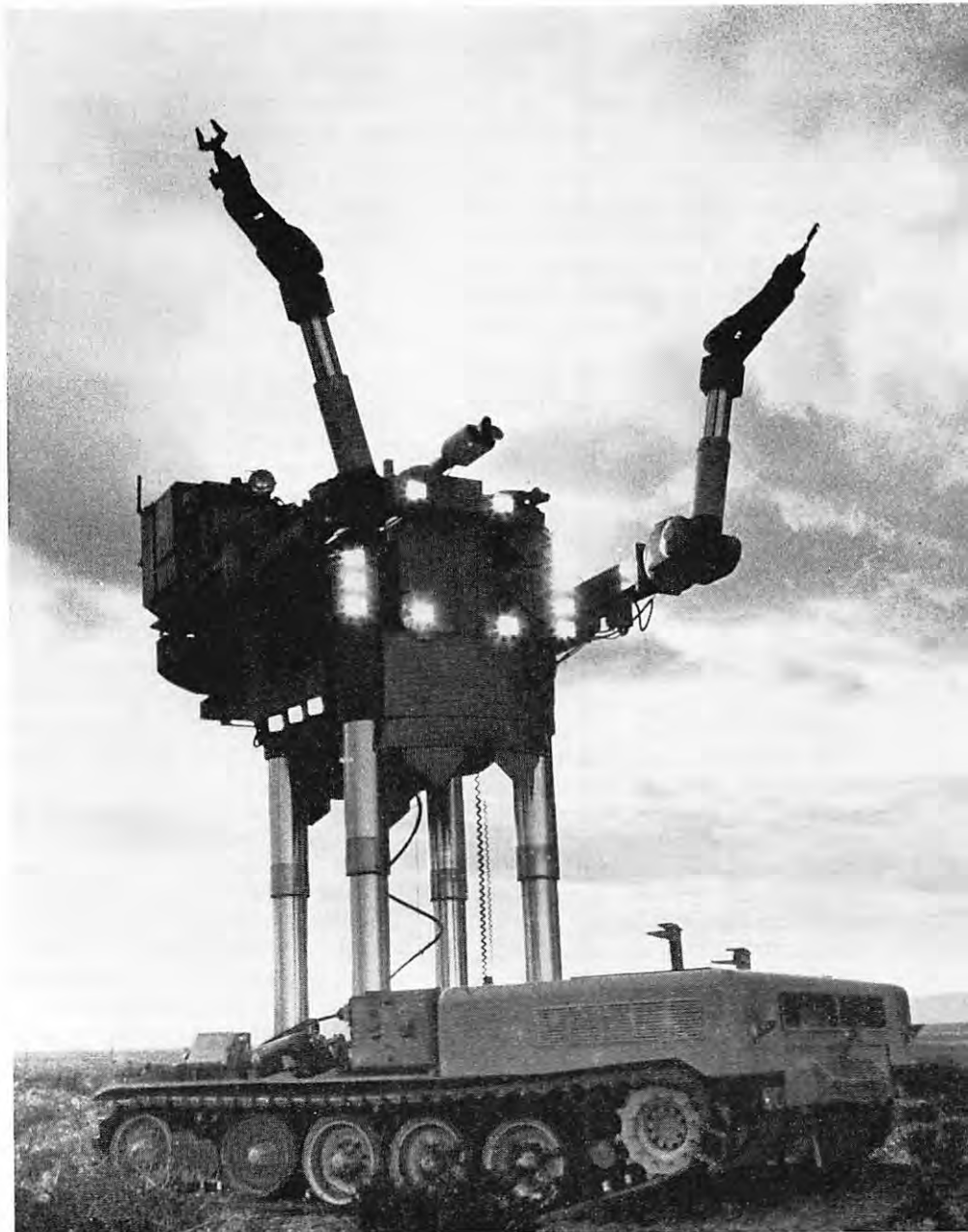
D'une façon très élémentaire une matrice de Steinbuch est constituée de colonnes dont chacune est affectée à la perception d'un message bien défini venant de l'environnement et où chaque ligne correspond à une "signification". Chaque état de l'environnement est représenté par un certain nombre de colonnes sous tension, le reste de ces colonnes restant neutre. On "donne une signification" à cet environnement en mettant sous tension une des lignes. Le point de croisement de chaque ligne avec chaque colonne est fait d'un élément qui se mémorise en devenant conducteur. Au bout d'un certain nombre d'expériences, un certain nombre de points de croisements se trouvent conduire. Lorsque plusieurs expériences légèrement différentes ont reçu la même signification, les mémorisations sur la ligne correspondante se trouvent en nombre supérieur à celui des messages de l'expérience la plus complète.

La matrice peut alors être utilisée de plusieurs façons.

Devant une expérience nouvelle les messages engendrés atteignent un grand nombre de lignes, mais il y a une des lignes qui reçoit plus de messages que les autres. Elle définit la "signification" la plus probable

Sera dite "machine intelligente" toute machine capable de simuler l'intelligence humaine. Mais encore faut-il définir cette faculté et en démontrer la réalité. Or, personne n'a jamais pu obtenir un accord sur une définition de l'intelligence. On est alors conduit à démembrer ce concept et à examiner comment des machines peuvent en imiter les diverses composantes.

*Dans un monde interdit à l'homme, la machine prend la relève.
On voit ici un manutentionneur-robot pour le déplacement de matières radioactives.*



que l'on doit donner à ce message nouveau.

Lorsque l'on veut savoir à quoi correspond réellement une signification, il suffit d'envoyer un signal dans la ligne correspondante et l'on dispose en tête des colonnes de l'ensemble des caractéristiques appartenant à cette signification.

Il est extrêmement aisé de faire une "pyramide" de telles matrices de façon à ce que les significations de l'une entrent comme environnement sur les lignes de la suivante. On peut obtenir ainsi des "significations de significations". En ajoutant des matrices à fonctions inhibitrices il est possible de multiplier les contrôles.

Quelles fonctions peut-on retrouver dans ces matrices :

— Tout d'abord on peut toujours affecter une signification à un événement quelconque, même si les caractéristiques de cet événement sont franchement différentes de la "meilleure" signification possible. C'est une fonction essentielle de la pensée, et rattacher un événement inconnu à un concept apparemment très éloigné peut être considéré comme une manifestation intelligente.

— Dans le même ordre d'idée il est possible dans ces matrices de sélectionner pour un même événement un certain nombre de significations plus ou moins "proches" de l'événement. On se trouve là en présence de procédures d'association d'idées.

— En affichant une "signification" sur une ligne, on a vu qu'on retrouve sur les colonnes la somme des informations susceptibles d'appartenir à tous les environnements ayant cette signification. On a donc un processus d'„imagination" d'un environnement plus riche que ceux existants. En affichant plusieurs significations soit simultanément soit successivement, on dispose sur les colonnes des caractères qui distinguent ces significations de ceux qui leurs sont communs, des caractères donc qu'il faut ajouter ou retrancher à une signification pour passer à une autre. Ces relations entre deux significations peuvent être reproduites pas à pas de façon à créer des chaînes de relations dans des groupes de significations. Le jeu des inhibitions augmente encore le potentiel de ces articulations de relations.

Ces matrices de Steinbuch constituent donc pour une machine un potentiel considérable de manipulations d'informations simulant un grand nombre de processus dits intelligents.

Cependant le grand problème subsiste : il faut commander ces opérations. Les matrices de Steinbuch sont inertes, elles recèlent des possibilités d'un ordre supérieur, mais uniquement des possibilités. On est en droit de se demander si l'essentiel ne réside pas dans le mécanisme qui va conduire ces matrices. Mais ce mécanisme serait-il lui-même intelligent, puisque les associations originales ne viendront pas de lui et qu'il sera probablement incapable de les concevoir ? D'autre part ces matrices de conception si simples, de fonctionnement tellement évident, ne satisfont pas au critère de Pitrat, car le "programmeur" sait parfaitement comment il y arrivera. On touche là une fois de plus du doigt le danger de vouloir cerner un concept objectif de l'intelligence.

La mémoire active.

Le concept du simulateur appelé mémoire active est fondé sur les considérations suivantes :

— Tout dans la psycho-physiologie semble montrer que l'essentiel de ce qui est mis en mémoire, n'est pas la "photographie" d'une situation mais les circonstances d'une action.

— Une des caractéristiques de la pensée humaine est de pouvoir dissocier les composantes d'un événement et de combiner une partie de ces composantes avec certaines composantes d'événements antérieurs.

— Une autre caractéristique de la pensée humaine dans son comportement "intelligent" est de ne pas tenir compte de certaines catégories de composantes de façon à pouvoir corréler certains événements, même lorsqu'ils appartiennent à des domaines éloignés les uns des autres.

— La pensée humaine semble s'exercer par une appréhension globale de l'ensemble de ses connaissances avec un tri quasi instantané de celles des connaissances qui peuvent l'aider à résoudre le problème qui se présente à elle à un instant précis.

— Il semble que la pensée s'objective de deux façons :

° Soit d'une manière "intuitive", c'est-à-dire en entreprenant une action sans avoir vérifié logiquement son efficacité ;

° Soit d'une manière "réfléchie", c'est-à-dire après avoir poussé à ses limites une investigation mentale préalable à toute action.

La structure d'une mémoire active simule l'ensemble de ces propriétés de la façon suivante.

Elle comprend quatre types de sous-ensembles, différents dans leur structure, mais formés de circuits électroniques complexes identiques entre eux. Ce sont les liaisons entre ces circuits qui différencient les différentes structures.

Un type, dénommé *Centre d'Inscription*, est destiné à recueillir les informations provenant d'un type de capteur particulier. Il y a donc autant de Centres d'Inscription qu'il y a de mode d'informations du système (capteurs de sons, de pression, de températures, de vibrations lumineuses de différentes périodes, capteurs chimiques, d'accélération etc.) Les entrées sur ces centres sont quantifiées, c'est-à-dire que le nombre de valeurs distinctes que peuvent prendre les informations en provenance d'un type de capteur est fixé par construction. Ce qui s'inscrit dans ces centres c'est le vecteur qui lie deux valeurs successives d'une information au cours de deux expériences successives. Ces deux expériences peuvent correspondre à des intervalles de temps réguliers (chez l'homme il semblerait que l'on enregistre tous les dixièmes de seconde). Les expériences s'inscrivent ainsi simultanément dans tous les Centres d'Inscription. Au bout d'un certain nombre d'expériences chacun des centres constitue un réseau formé de tous les vecteurs qui ont été mis en mémoire.

Un second type constitue les *Centres d'Association de Situations*. En effet chaque événement s'est inscrit au même moment sur l'ensemble des Centres d'Inscription, mais cela d'une façon indépendante. Il est important que toutes ces inscriptions simultanées soient liées pour pouvoir justement tenir compte de cette simultanéité. C'est la fonction des Centres d'Association.

Un troisième type est formé par les *Centres d'Association d'Actions*.

Leurs fonctions assez semblables à celles des centres précédents consistent à associer non les valeurs simultanées des différentes informations (que l'on peut également appeler les valeurs simultanées des différentes variables) mais les valeurs que prennent simultanément les différents vecteurs qui lient deux situations successives. Ces vecteurs représentant les "actions" qui transforment une valeur de variable en une autre valeur. L'ensemble des vecteurs simultanément appliqués représente une action complexe, c'est l'équivalent d'un acte coordonné chez l'homme. En liaison étroite avec ces centres existent des circuits de hiérarchisation des actions destinés à trancher lorsque deux actions coordonnées apparaissent comme également utilisables au cours du déroulement d'un comportement.

Enfin un Centre dit de *Coordination*, constitue le régulateur qui contrôle toute l'activité de la mémoire active. Ce n'est pas à proprement parler une horloge, car ses fonctions sont complexes et elles sont différentes selon les informations que ce centre reçoit, en cours de fonctionnement, à partir des trois autres centres. En un mot il y a un bouclage total, chaque centre étant en réalité sous le contrôle des trois autres.

Les problèmes qui sont posés à la mémoire sont du type suivant : étant donnée une certaine situation, décrite par les valeurs que prennent l'ensemble ou seulement un certain nombre de variables, définir la suite d'actions coordonnées qui transformeront cette situation dite Situation de Départ, en une nouvelle situation dite Situation résultante. Les informations dont la mémoire se servira sont celles qu'elle aura mémorisées antérieurement dans ses différents centres. Le mode de mémorisation est semblable à celui qui préside aux acquisitions de la pensée humaine : le hasard et le jeu, l'instruction qu'on appellera "apprentissage gnosique" et l'apprentissage proprement dit ou "apprentissage praxique". Il y a aussi chez l'homme la mise en mémoire de situations imaginées antérieurement. On verra plus loin que cela existe aussi dans les mémoires actives.

Les Situations de Départ et résultante étant affichées, la logique interne de la mémoire commande

la recherche, dans les Centres d'Inscription, du trajet vectoriel le plus court entre la coordonnée de départ et la coordonnée résultante de chaque variable, c'est-à-dire le minimum d'actions élémentaires qui transformeront l'une en l'autre. Mais cette recherche est subordonnée aux restrictions suivantes, restrictions qui sont imposées par la structure même de la mémoire :
1° — Le nombre d'actions successives permettant d'aboutir à la Situation résultante doit être le même dans chaque variable (il y a des actions zéro).

2° — Chaque action coordonnée doit aboutir à une Situation intermédiaire compatible avec les informations que contiennent les différents centres, en particulier les Situations intermédiaires doivent toutes respecter les règles d'association inscrites dans les centres.

3° — Chaque action coordonnée doit elle-même respecter les informations d'association d'actions.

Performances de la mémoire active.

Ces quelques explications à la fois trop lourdes et trop succinctes étaient nécessaires pour aborder les rapports de cette mémoire avec le sujet.

1° — *Imagination*. La stratégie proposée par la mémoire passe obligatoirement par des situations compatibles avec les informations mémorisées. Mais il se peut qu'il y ait des combinaisons d'association qui ne correspondent pas à des phénomènes réellement perçus mais à des combinaisons d'informations relatives à des phénomènes différents. Toutefois on aura l'assurance que ces combinaisons respectent les différentes liaisons qui sont apparues à la machine au cours de ses expériences. Elle aura donc dans ce cas imaginé une voie (Situation intermédiaire imaginée) et un moyen (Association d'actions imaginées) pour résoudre le problème. Mais une imagination élaborée en fonction d'une action à entreprendre est une invention. Notons qu'il y a deux mécanismes différents selon qu'il s'agit d'imaginer une situation (état de l'environnement) ou une action (acte coordonné).

2° — *Abstraction*. Il peut n'y avoir pas de solution au problème posé.

La "mémoire active" est un simulateur d'intelligence qui résout sans cesse des problèmes nouveaux (pour elle naturellement, mais quelquefois aussi pour son constructeur), sans que l'on puisse dire d'avance comment elle y arrivera. Elle met en œuvre de nombreuses facultés propres au cerveau humain et réputées, jusqu'il y a peu, inaccessibles à la machine.

Il pourrait y en avoir une si l'une des variables ne faisait pas intervenir une contrainte sans issue. Par exemple on entre dans une pièce et l'on désire s'asseoir dans un fauteuil Louis XV. S'il n'y a qu'une chaise de ce style, il n'y a pas de solution à moins de faire abstraction de la spécification "fauteuil". A partir de là on peut imaginer aisément qu'il faille faire abstraction du style, puis de la présence d'un siège (ce qui peut conduire à s'asseoir sur un lit ou une chaise) etc.

Il en est de même dans cette mémoire. Lorsqu'il n'y a pas de solution (ou que sa recherche est trop longue comme on le verra plus loin) il est possible de procéder à cette "abstraction" mais par deux méthodes entièrement différentes :

— La première dite "Projection" consiste, sans faire abstraction d'une variable, à supprimer sa corrélation avec une ou plusieurs autres variables. Une contrainte peut alors disparaître.

— La seconde dite "Abstraction" consiste à chercher une solution sans tenir compte d'une ou plusieurs variables, soit en ce qui concerne le départ soit en ce qui regarde le but (situation résultante), les abstractions du départ et du but pouvant être différentes. Par exemple entrer non dans une certaine pièce mais dans une pièce quelconque pour chercher non un fauteuil Louis XV mais un siège quelconque.

3° — *Généralisation*. Il est une fonction qui permet de généraliser à toutes les valeurs d'une variable les actions qui ont été mémorisées pour une seule de ces valeurs. Cela permet également des solutions à des problèmes apparemment insolubles.


Il est évident que ces solutions d'abstraction ou de généralisation demandent à être expérimentées. Une fois expérimentées elles peuvent être inscrites dans la mémoire et servir d'aliment nouveau pour résoudre d'autres problèmes.

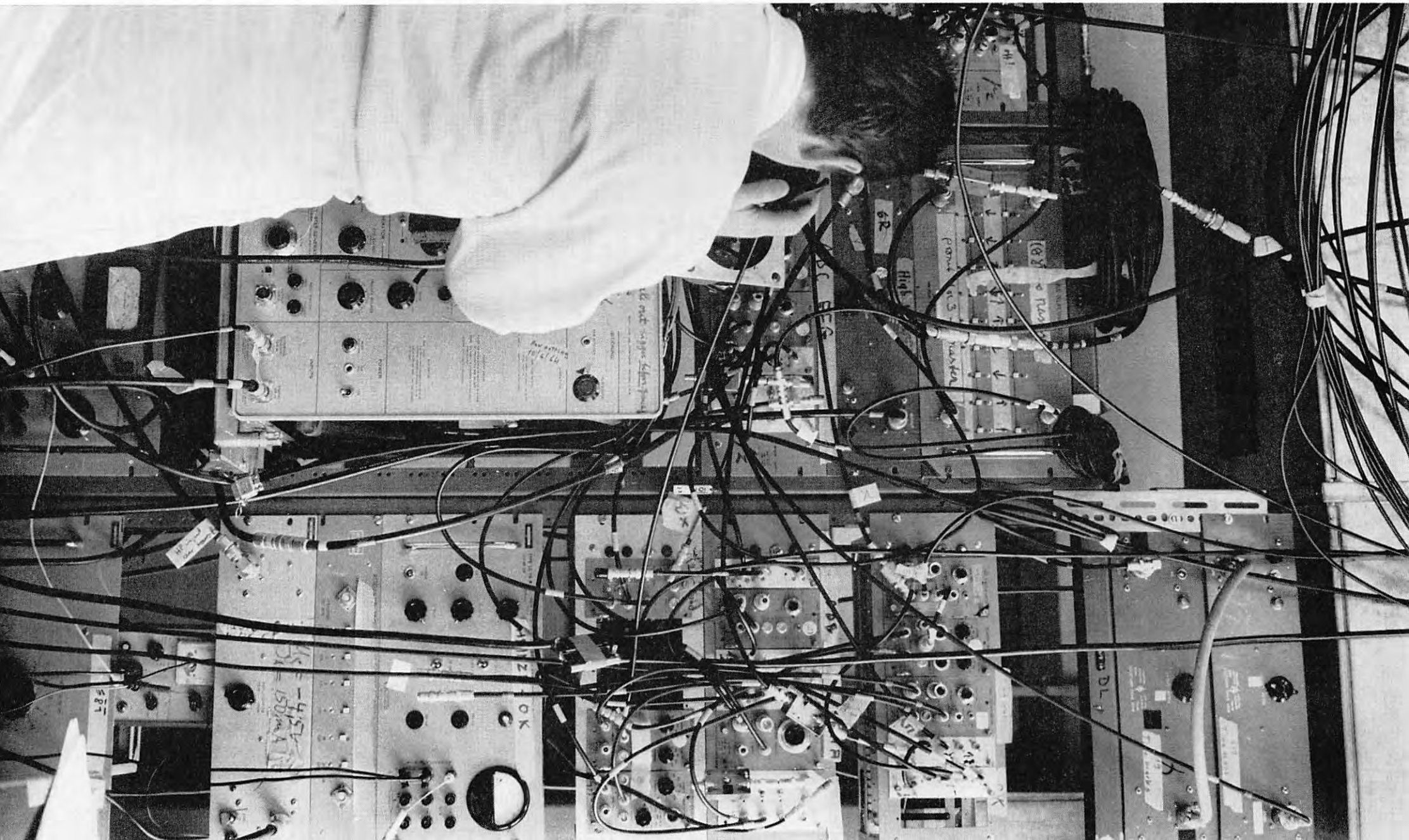
Ces deux procédés ont ceci en commun, c'est que lorsqu'ils sont employés avec succès ils font apparaître instantanément une solution là où la recherche était vaine. C'est bien là un des caractères fondamentaux de l'acte intelligent.

4° — *Exploration au hasard*. La puissance de telles mémoires est très grande. Par exemple une

mémoire expérimentale actuellement en fonctionnement ne comporte que 2.000 circuits élémentaires représentant chacun une "cellule" de mémoire. Ces circuits sont réparés en six variables. Or le nombre de situations qui peuvent être représentées est supérieur à 3 millions. Le nombre des vecteurs résultants possibles est de 15.000. Comme chacun des vecteurs peut être lié à chacun des points on voit quel est le nombre de vecteurs liés distincts. Cela veut dire en particulier qu'on peut avoir des trajets dans cette mémoire (ne repassant jamais deux fois par le même point) correspondant à une séquence de 600.000 actes coordonnés, ceci constituant la succession nécessaire des actes donnant la solution d'un problème. Il est rare que l'homme puisse prévoir plus de dix actes. Pour une mémoire non plus de 2.000 éléments, mais de un million par exemple, il peut y avoir des problèmes résolus grâce à une "stratégie" de 10^{12} actes coordonnés mettant en jeu chacun une centaine de variables. Même aux vitesses de commutation électronique cela peut demander plusieurs jours d'exploration (pourtant dans une mémoire active l'exploration se faisant en parallèle sa durée est strictement égale à celle de la solution la plus courte). Il en est de même pour la pensée humaine (par exemple on ne peut faire l'analyse correcte d'une partie d'échecs avant chaque coup). Dans ce cas la mémoire active, au bout d'un certain temps interrompt son opération de recherche, fait un pas "au hasard" et reprend la recherche, pour voir si la nouvelle situation ne l'a pas mise dans une situation meilleure pour appréhender le problème. Elle peut simultanément faire abstraction et projection. La signification de ceci est liée à une notion d'„urgence biologique". L'homme se trouve souvent dans des situations où il est nécessaire d'agir pour survivre, sans pouvoir étudier la justification logique de ses actes. D'autre part si les mathématiciens appellent "fonctions calculables" des fonctions qui peuvent demander plusieurs millions d'années de fonctionnement d'ordinateurs pour être réellement calculées, l'homme d'action sait qu'il doit décider en "temps réel". Il préfère une solution boiteuse immédiate qu'une solution "correcte" arrivant trop tard. Il est donc

La "mémoire active" met en œuvre des procédés qui sont essentiellement caractéristiques de l'acte intelligent, mais avec une puissance qui est sans commune mesure avec celle du cerveau humain.

 Dans les laboratoires du CERN. L'ère de la cybernétique est aussi celle de l'électronique et de la complexité.



quelquefois contraint de se fier au hasard, corrigé tout de même par ce que son expérience ne lui interdit pas de faire. C'est cette fonction que l'on retrouve dans la mémoire active.

Mémoire active et comportement intelligent.

En quoi maintenant peut-on rapprocher ces fonctions de celles qui apparaissent dans les "comportements intelligents"?

Tout d'abord cette mémoire résoud des problèmes nouveaux (pour elle naturellement, mais quelquefois aussi pour son constructeur) en utilisant des expériences anciennes et des schèmes moteurs appliqués à d'autres situations.

Ensuite cette mémoire "imagine", c'est-à-dire que pour résoudre un problème elle reconstruit, en dissociant des informations antérieurement mémorisées, soit des situations intermédiaires et alors elle indique comment y parvenir (c'est-à-dire par exemple les construire) soit des actes coordonnés intermédiaires, c'est-à-dire qu'elle combine des actions d'une manière originale. Il y a là deux types d'imagination dont les mécanismes sont absolument différents et distincts également du mécanisme de résolution des problèmes nouveaux.

Cette mémoire fait diverses opérations d'abstraction selon trois mécanismes absolument indépendants. Grâce à cela elle peut trouver soudainement la solution d'un problème en indiquant en même temps quelles sont les actions qui seraient nécessaires dans les domaines dont on a fait abstraction. Il y a là encore un autre aspect d'imagination, c'est à-dire au fond d'invention.

Ceci représente la manière "intuitive" de fonctionner de ce système. Il existe aussi une manière "réfléchie". Dans ce cas le fonctionnement est évidemment plus long, le temps de réponse devient différent. La mémoire commence par une recherche ordinaire de solution, elle définit successivement toutes les étapes de cette solution (qui par construction est la plus courte) mais au lieu d'agir à chacune de ses étapes, elle se contente de les vérifier toutes les unes après les autres (en cas d'abstraction par exemple). Si une ou plusieurs de ces étapes sont

à rejeter, la mémoire reprend son exploration, sa recherche, jusqu'à trouver la solution non plus la plus courte, mais celle de longueur immédiatement supérieure. Elle la teste à nouveau et ainsi de suite jusqu'à une solution entièrement acceptable. A ce moment elle met cette solution en action.

Examen critique des résultats.

Que peut-on raisonnablement tirer de tout cela? Il convient avant tout de ne pas oublier qu'il ne s'agit que d'une simulation et qu'on ne peut rien affirmer quant au fonctionnement du cerveau "intelligent". On a vu apparaître un grand nombre de mécanismes absolument distincts les uns des autres. C'est dire que dans ce système simulateur on n'a pas le droit de rattacher ces mécanismes à une fonction unique. D'autre part sont apparues des propriétés inhabituelles dans les machines à traiter l'information. Ces propriétés simulent l'imagination, et cela de plusieurs manières, l'abstraction et la généralisation, la soudaineté d'apparition d'une solution, le transfert de schèmes d'actions à des situations inattendues. En procédant à une analyse plus fine on s'aperçoit qu'imaginer une situation intermédiaire pour résoudre un problème, et donner la façon d'obtenir cette situation imaginaire, c'est non seulement résoudre un problème, mais aussi en poser un, ce qui est peut-être la chose la plus importante. Il est deux modes de fonctionnement qui simulent la pensée intuitive et la pensée réfléchie. Comme cette mémoire se sert non d'un algorithme ou d'un programme mais d'événements mémorisés à partir de l'environnement, il n'est pas possible de savoir à l'avance comment le problème posé sera résolu, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de connaître le procédé logique employé.

On peut discuter encore ce point, car il s'agit d'un système dit à logique câblée, et l'on prétend aisément que sa logique est plus rigide que celle d'un programme d'ordinateur. En réalité l'aspect matriciel de cette mémoire est avant tout un moyen de supporter des informations quantifiées, mais cette structure n'intervient pas sur le déroulement des événements.

Enfin absolument rien ne prouve que les neurones ne sont justement pas organisés d'une façon semblable. Le cerveau n'est pas un calculateur, il est incapable de résoudre des problèmes du 4ème ordre. Par contre c'est un admirable appareil combinatoire, et les ordinateurs dont on connaît les exigences bientôt rédhibitoires en matière de "Software" sont de très médiocres combinateurs.

Enfin il est une autre propriété de ce type de mémoire, propriété dont le mécanisme est trop complexe pour être évoqué ici, qui permet à celle-ci de construire une stratégie non plus par l'analyse et la resynthese d'expériences antérieures, mais simplement à partir d'informations de "base" données distinctement dans les différents centres, sans qu'aucune expérience globale ait eu lieu. A partir de ces informations qu'on pourrait appeler "composantes" par similitude avec les vecteurs "composant" d'un vecteur dimensionnel, la mémoire construit littéralement des séquences d'actes coordonnés qui respectent toutes les contraintes exigées par les informations composantes, qu'il s'agisse de situations, d'actions ou d'actes coordonnés.

Toutes ces performances, malgré leur originalité, laissent tout de même une incertitude sur le principal. Quel que soit l'intérêt que présentent ces fonctions, qu'est-ce qui les met en œuvre, qu'est-ce qui les choisit, comment sont définies les situations de départ et le but?

Là encore avant d'interroger à priori la machine convient-il peut-être de se retourner vers l'homme et de vérifier les fondements de ce que nous croyons savoir de son comportement intelligent (peut-être n'est-il pas superflu de rappeler que c'est uniquement de celui-ci que nous nous occupons). Aurel David a parfaitement distingué les buts clairs et les buts obscurs. Ce qui est clair, ce qui est "intelligemment" choisi, c'est toujours un but clair, c'est-à-dire un but intermédiaire. **Quant aux buts lointains, obscurs, dès qu'ils s'éclairent un peu, ils sont rejetés comme tels au bénéfice de nouveaux buts, plus lointains, plus obscurs.** Ce n'est pas le lieu de parler de ceux-ci. Quant aux autres, ce sont les situations intermédiaires imaginées dont il a été question.

En ce qui concerne le mode d'application des fonctions, on ne

Il convient de ne pas oublier que la "mémoire active" n'est qu'un "simulateur" d'intelligence. Cette réalisation ne permet donc pas de tirer des conclusions quant au fonctionnement même du cerveau humain.

pourra faire ici que des hypothèses, car si tout ce qui a été avancé existe et a été expérimenté, on commence seulement à expérimenter ces questions déjà plus complexes.

L'expérimentation va consister à mettre en mémoire, en tant que situations, des suites de fonctions, projection, généralisation etc. soit liées au hasard, soit enseignées, exactement comme cela se passe pour l'homme en ce qui concerne l'apprentissage de sa vie intellectuelle.

Enfin se pose maintenant la grande question. Y a-t-il intelligence sans conscience réfléchie? On peut répondre à nouveau : Y a-t-il intelligence? Si le concept d'intelligence semble absolument lié à l'homme et à la pensée subjective, n'en est-il pas de même de la conscience réfléchie? Qui irait demander un avis sur les propriétés athlétiques d'une machine? Ce qu'on n'imagine pas de faire pour cause d'absurdité au sujet du muscle, est-il tellement nécessaire de l'envisager quand il s'agit du système nerveux ou de la psychologie?

Digression sur des approches fragmentaires.

On s'étonnera probablement de n'avoir pas encore rencontré ici un certain nombre de réalisations bien connues généralement considérées comme relevant du domaine de l'intelligence artificielle. C'est qu'en réalité il ne s'agit que de fort loin d'une simulation de l'intelligence.

Les auteurs anglo-saxons qui sont les grands spécialistes de ces problèmes distinguent généralement quatre formes d'„intelligence artificielle”.

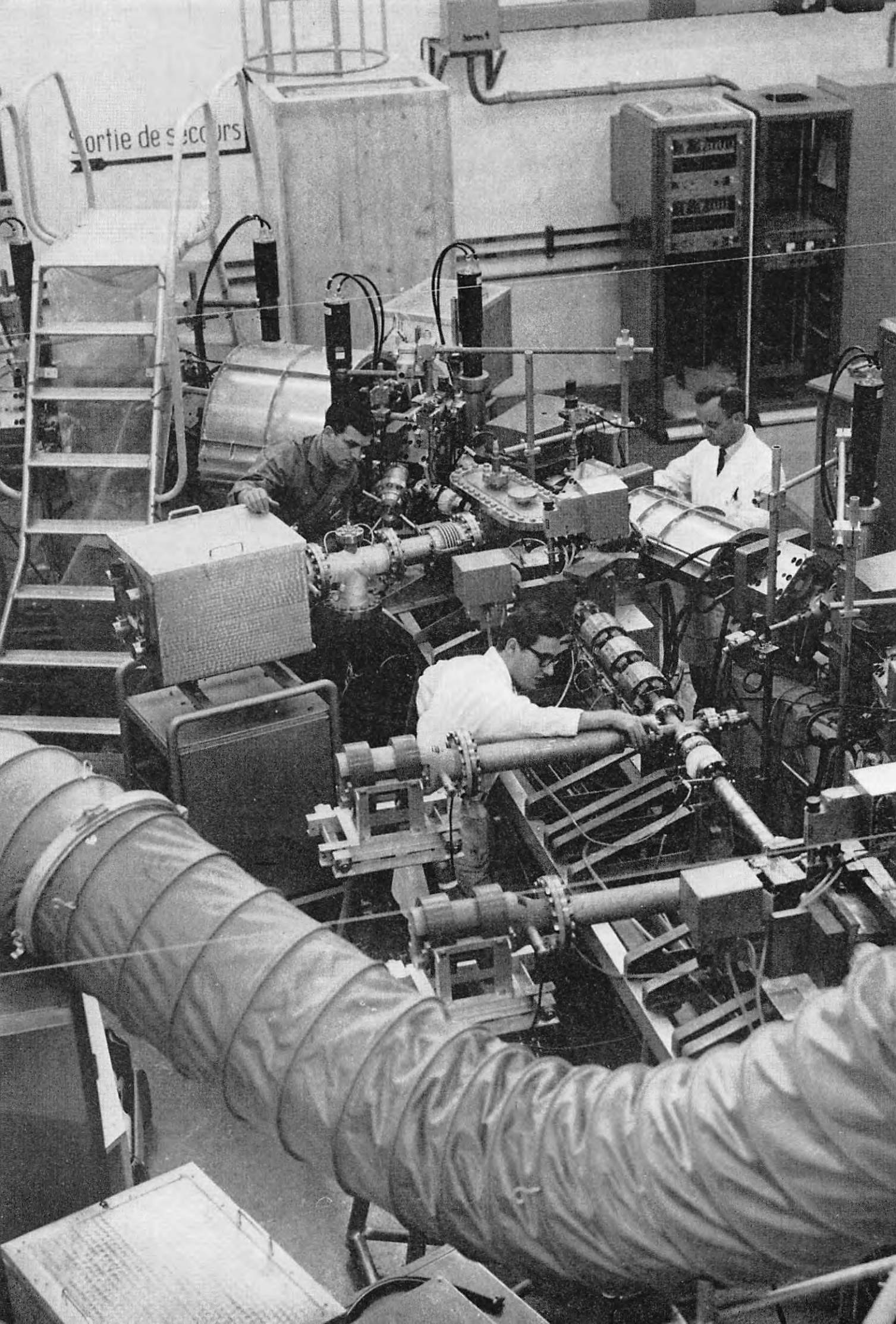
La reconnaissance des formes. Il s'agit de la théorie des Perceptrons étudiée soit sur des modèles construits soit sur des simulations par programme d'ordinateur. La reconnaissance des formes n'est pas une fonction de l'intelligence. On doit plutôt l'assimiler à un capteur perfectionné. Des capteurs qui enverraient directement aux centres cérébraux l'ensemble des informations qu'ils transforment bloqueraient probablement ceux-ci par l'excès de richesse des informations qui feraient de chaque moment un instant unique, incomparable à au-

cun autre, ce qui rendrait impossible l'élaboration d'un comportement efficace. La fonction de type Perceptron a pour objet de rapporter toute perception de l'environnement à un type bien défini au cours d'expériences antérieures. Cette définition est donnée par un "éducateur" au moyen de sanctions qui corrigent les réponses. Il y a à la sortie du Perceptron un appauvrissement très important de l'information. Le système alimenté par un Perceptron a donc une masse d'informations bien inférieure à manipuler et une grande partie des fonctions intellectuelles dites supérieures est en fait réglée par le Perceptron. Mais là il n'y a aucune trace de comportement intelligent.

On peut rattacher au Perceptron, les programmes Adaline, Madaline, Pandemonium.

La solution de problèmes complexes par des méthodes heuristiques.

Les auteurs ramènent généralement ce problème à celui du "hill-climbing". Dans des situations caractérisées par de nombreuses variables, la recherche d'une solution peut se représenter par une recherche de trajectoire dans un espace à autant de dimensions qu'il y a de variables et les bonnes solutions dites "optimisées" sont caractérisées par la recherche du plus haut sommet d'une surface de cet espace. Malheureusement ce sommet ne se signale pas comme un pic majestueux au milieu d'une plaine, mais doit être recherché parmi d'autres sommets séparés les uns des autres par des plaines ou même des gouffres. Monter toujours n'est pas la bonne solution car on risque de gravir une colline sans voir le pic majestueux qui se profile à distance. Tout ce qu'ont trouvé les chercheurs en intelligence artificielle c'est de sauter au hasard d'un point à l'autre de la surface, et successivement à partir de chaque point de chercher à monter le plus haut possible. La philosophie de cette étrange démarche est que si l'on n'obtient pas le meilleur on n'arrive quand même pas au pire. Cela n'a aucun rapport avec une manifestation intelligente. Cette démarche se rapporte un peu à la quête "au hasard" de la mémoire active, mais pour celle-ci, dès qu'il y a une solution c'est la solution optimale et elle apparaît d'une façon soudaine.



Symbiose de l'homme et de la machine, harmonie et non plus antagonisme, tel est la signification de la nouvelle révolution industrielle.



Le problème de l'apprentissage.

Il y a un grand nombre de machines ou de programmes d'apprentissage, soit à sanction externe, soit auto-adaptatives. Mais il semble bien que l'apprentissage soit presque la négation de l'intelligence. En différent en particulier la nouveauté des solutions, la nouveauté du domaine d'application, la soudaineté des réponses.

Le choix d'une stratégie.

Il s'agit là de programmes d'ordinateurs chargés d'appliquer selon une méthode parfaitement définie par le programmeur, des modes d'évaluation de situations complexes elles-mêmes parfaitement définies par le même programmeur, c'est-à-dire que l'expérimentateur fait appliquer par une machine l'essentiel de ce qu'il a déduit de sa propre démarche intellectuelle. On retombe sur un simple programme de solution de problème, programme un peu bizarre, mais en lui-même ce programme n'est pas plus "intelligent" que le programme de calcul d'un sinus ou d'une racine.

Il semble bien, il faut le répéter, qu'il y ait une confusion profonde entre ce qui est du domaine de l'„intelligence" et ce qui est du domaine du "non résolu par l'homme". Il faut être extrêmement attentif à ce genre d'assimilation injustifiée.

Pour en finir avec les rapports des ordinateurs avec la pensée (du moins en ce qui intéresse notre propos) il faut noter que tous les programmes d'ordinateurs se référant à l'intelligence artificielle sont conçus pour simuler des machines idéales, non construites, ces machines étant conçues elles-mêmes comme des simulateurs du fonctionnellement cérébral (du moins en partie). L'ordinateur joue le rôle d'un simulateur de simulateur. Il est certain que des erreurs extrêmement graves peuvent naître de cet état de fait. La simulation qui est une ressemblance n'est pas transitive, c'est-à-dire que si A ressemble à B, et que B ressemble à C, cela ne veut pas dire, contrairement à l'axiome dit du Duc de Bordeaux, que A ressemble à C. Très souvent l'ordinateur ne peut simuler exactement la machine, et le programmeur se contente de considérer celle-ci comme une boîte noire et de simuler uniquement son "tableau

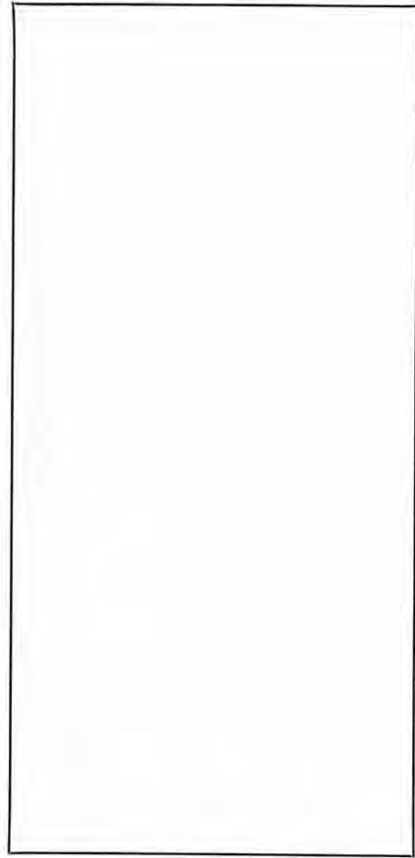
de vérité". Mais comme la machine n'existe pas on n'est déjà pas sûr du tableau de vérité. En outre si la machine fonctionne en parallèle, l'ordinateur est obligé de faire une approximation plus ou moins valable. La machine étant elle-même une approximation de la fonction intellectuelle, on se demande ce que l'ordinateur peut bien représenter de celle-ci.

En guise de conclusion.

Au terme de cette réflexion il est évident que l'on n'a pas tenté de résoudre une question, mais que l'on a surtout essayé d'appréhender une certitude intuitive. Cette certitude semble échapper à toute approche strictement objective. Le regretter ou s'en féliciter relève d'un jugement de valeur, d'une position philosophique personnelle. Est-il nécessaire d'affirmer chez l'homme une intelligence spécifique, transcendante pour asseoir sa supériorité et la rendre indiscutable? N'est-ce pas, au contraire, une faiblesse de l'esprit et une démarche dangereuse que de lier sa dignité à une manifestation de son esprit apparemment très noble, mais dont justement la noblesse peut être à tout instant remise en question par un substitut matériel? Il fut un temps où le grand homme, le héros, le dieu presque de la tribu était avant tout le grand chasseur. Le nom de Nemrod est parvenu à nous. Ses descendants sont tueurs dans les abattoirs. Nous vivons le siècle de l'intelligence mais personne ne sait si l'évolution ne continuera pas, et si les diverses manifestations permettant les combinaisons d'informations les plus utiles ne seront pas un jour le fait de mécanismes mieux adaptés. La dignité de l'homme sera alors d'être un être affectif, mais affectif d'une manière dont nous n'avons actuellement aucune idée. Quelle importance, dira-t-on d'imaginer ce qui pourrait être dans quelques siècles? L'importance exacte que l'on attache aux idées suggérées par le titre de cet article.

Dr Jacques SAUVAN

Est-il nécessaire d'affirmer chez l'homme une intelligence spécifique, transcendante pour asseoir sa supériorité et la rendre indiscutable? N'est-ce pas, au contraire, une faiblesse de l'esprit et une démarche dangereuse que de lier sa dignité à une manifestation de son esprit apparemment très noble, mais dont justement la noblesse peut être à tout instant remise en question par un substitut matériel?



L'automate joueur d'échecs

Max EUWE

Professeur à la
"Katholieke Hogeschool" de Tilburg
(Pays-Bas)

L'organisme européen qui effectue des recherches dans le domaine de l'énergie atomique et que l'on appelle en abrégé Euratom, a chargé au début de 1961 la "Stichting Studiecentrum voor Administratieve Automatisering", à Amsterdam, de former une équipe recrutée parmi quelques pays membres de la Communauté Européenne. Cette équipe avait pour tâche l'étude des possibilités de faire jouer une partie d'échecs (raisonnable) par une machine électronique traitant des informations c.à.d. par un ordinateur.

Quelque peu étrange, apparemment, ce rapport entre, d'une part une instance dont la tâche est de servir les intérêts généraux d'un certain nombre de pays européens et, d'autre part, un jeu que l'on peut tout au plus considérer comme un élément d'utilisation des loisirs.

C'est pourquoi une courte introduction s'impose afin de mettre en évidence les idées latentes ayant déterminé cette mission.

Le but n'en était pas, évidemment, d'approfondir la connaissance des échecs ou de quelque jeu que ce fut, mais bien d'obtenir, via le jeu d'échecs, quelques données sur le processus de la pensée chez l'homme.

Que l'on ait choisi dans ce cas, comme pour d'autres problèmes également, le jeu d'échecs comme moyen d'enquête, résulte des considérations suivantes :

1. Le jeu d'échecs est un jeu fascinant, socialement très apprécié. L'histoire de l'évolution de ce jeu est fort longue et passionnante. Dans le passé bien des personnages très en vue (rois, savants) se sont intéressés au jeu d'échecs.

2. La structure du jeu d'échecs est simple, mais le développement des idées et des "calculs" est tellement compliqué que jouer de façon parfaite peut dépasser de loin les possibilités humaines. Les règles en sont absolues, et il n'y a pas (du moins en principe) de facteurs inconnus.

3. Le jeu d'échecs offre la matière idéale à exercices pour ce que l'on nomme les techniques de programmation heuristiques. C'est un ensemble de procédés qui visent à trouver des méthodes de solutions

plus rapides que celles qui sont basées sur l'essai systématique. Dans le jeu d'échecs l'essai systématique de toutes les possibilités ne réussit qu'exceptionnellement et les méthodes heuristiques y ont par conséquent une importance prédominante.

4. Le jeu d'échecs offre de par sa programmation la possibilité de simuler la pensée humaine, de développer des théories sur la pensée, de les concrétiser et de les mettre à l'épreuve.

5. L'hypothèse selon laquelle la façon de penser du joueur d'échecs est similaire, au cours du jeu, à la pensée normale de l'homme, se vérifie mieux dans le jeu d'échecs que dans bien d'autres jeux.

L'ordinateur, qui est capable d'effectuer plusieurs milliers d'opérations en une seule seconde, a considérablement élargi les possibilités d'enquête en ce domaine - que l'on doit considérer comme appartenant à la psychologie. Il peut être utile de décrire globalement la procédure générale appliquée lors d'expériences psychologiques parce que cette procédure offre de grandes analogies avec celle que l'on suit lors des recherches sur les échecs mécaniques.

1. Des hypothèses sont émises en ce qui concerne les facteurs en jeu lors de l'enquête et leurs relations mutuelles. En termes techniques on dit qu'un modèle est créé.

2. A partir des relations présumées on dresse un programme d'ordinateur qui développe un ou plusieurs cas concrets.

3. Les résultats sont comparés à ceux que l'on serait en droit d'attendre sur la base d'expériences effectuées avec des personnes-cobayes.

4. S'il y a lieu (ce qui est toujours le cas tant que la théorie n'est pas encore absolue) on revoit les hypothèses et les relations. A la suite de quoi le programme de l'ordinateur subit également quelques changements.

5. A partir de nouvelles hypothèses et formules on effectue des expériences et le cycle 2-3-4 est ainsi répété, ce qui restreint toujours (comme nous l'espérons) les écarts et fait concorder davantage la théorie avec la pratique.

Ce qui précède met l'accent sur le fait que l'Euratom n'a pas eu l'intention de faire de l'ordinateur un joueur d'échecs de première force. Cela n'eut d'ailleurs pas été possible avec les moyens actuels, étant donné l'infinité des nuances du jeu d'échecs.

Il s'agissait d'une analyse du processus de la pensée humaine au cours d'une partie d'échecs, grâce à quoi on espérait trouver des points de contacts avec les processus de pensée lors d'autres activités. On pensait tout particulièrement à la traduction machinale, qui reste l'un des problèmes très importants de l'Euratom polyglotte.

Il existe en effet une certaine analogie entre la situation dans laquelle est placée le joueur d'échecs au moment de déplacer une pièce et celle du traducteur lorsqu'il choisit le mot juste.

Dans les deux cas il s'agit de limiter le choix entre beaucoup de possibilités théoriques, de façon judicieuse, pour n'avoir plus qu'à décider parmi un nombre de possibilités raisonnables fortement réduites.

Néanmoins l'analogie se révéla moins grande que prévue et l'analyse des échecs n'a donc pas abouti à une procédure utilisable à des fins de traduction. Cela découle principalement de la différence de volume entre le réseau de ramification des possibilités dans le jeu d'échecs et le "réseau de traduction". Il s'agit ici d'un tout autre ordre de grandeur. Aux échecs l'éventail des variantes est des millions ou des milliards de fois plus étendu qu'il ne l'est pour la traduction. Aussi l'aspect traductif de l'enquête n'a rien donné d'important.



Avant de poursuivre nos considérations sur l'étude de l'Euratom, nous allons reporter notre attention sur la première enquête scientifique importante qui fut menée, dans ce domaine, vers 1950, par **Claude Shannon**. Elle constitue en effet la base de toutes les études ultérieures.

Shannon constate, en tout premier lieu, qu'en théorie il est possible, bien sûr, de jouer de façon parfaite

une partie d'échecs, mais que dans la pratique cela dépasse de loin les possibilités humaines, et de loin également la puissance de n'importe quel grand cerveau électronique imaginable. Les ramifications sont trop vastes - l'ordre de grandeur étant de 10^{120} - pour que l'ordinateur le plus rapide puisse les parcourir en un temps "fini". C'est pourquoi il est absolument nécessaire de disposer de moyens pouvant limiter l'éventail des ramifications. Shannon estime indispensable une règle d'arrêt qui classe les continuations en profondeur. Par ailleurs il faut développer une fonction d'évaluation qui puisse estimer la valeur d'une position quelconque. Cette fonction, appliquée aux points terminaux, donne des résultats pour une procédure de décision du type "minimax". On entend par là une procédure qui remonte des points terminaux analysés et compare chaque fois les différentes ramifications entre elles, tout en se demandant si, oui ou non, le joueur qui doit déplacer une pièce sur son échiquier possède les possibilités d'analyser son jeu. On doit évidemment se rendre compte du fait qu'une fonction d'évaluation infaillible est une impossibilité. Si l'on disposait d'une telle fonction, il ne serait plus nécessaire de prévoir plus d'un seul coup. Les échecs ne seraient plus un jeu mais un problème mathématique, qui consisterait à calculer la fonction d'évaluation pour les différentes possibilités afin d'en déterminer ensuite le total le plus élevé.

Nous devons nous contenter (heureusement) d'une fonction d'évaluation approximative et si l'on calcule à l'avance un certain nombre de coups, c'est bien dans le but de corriger autant que possible les imprécisions et les inexactitudes de cette fonction.

Shannon distingue deux types de stratégie, le type primaire et le type secondaire. La stratégie primaire est basée sur une règle d'arrêt qui détermine une fois pour toutes le nombre de coups à calculer d'avance et sur une fonction d'évaluation approximative pour la détermination des points terminaux.

La stratégie secondaire va plus loin. Le nombre de coups à prévoir par la règle d'arrêt y est fonction de la nature de la position : calme, morte, stable ou hasardeuse. De plus il y a une seconde fonction qui

Il est possible, en théorie, de jouer de façon parfaite une partie d'échecs, mais dans la pratique cela dépasse de loin les possibilités humaines. Une telle performance est inaccessible aussi à n'importe quel ordinateur actuellement en service.



Le professeur Georges R. Boulanger, président de l'Association Internationale de Cybernétique, joue une fin de partie contre le joueur d'échecs automatique de Torres Quevedo présenté au cours d'un récent congrès à Namur. Au centre, le fils du célèbre inventeur espagnol.

décide si, dans une position donnée, il faut envisager un coup déterminé. Cette seconde fonction dépend, outre de la position, du type de coup. C'est ainsi que, par exemple, les "échecs et mat", les positions de prises et de menaces donneront de hautes valeurs de fonction et devront donc être prises en considération, tandis que des coups à l'aveuglette en dehors du terrain de combat proprement dit, laisseront peu de valeur à la fonction.

Des études ultérieures, et celle de l'Euratom également, furent en grande partie fondées sur les bases établies par Shannon.

Mentionnons en bref les travaux les plus importants dans leur ordre chronologique.

Turing (1951) concrétisa les suggestions de Shannon. Il mit en évidence l'idée de "point mort"; l'accès à une telle position était un signal pour rompre les ramifications ultérieures. Dans la fonction d'évaluation de Turing le matériel disponible prenait évidemment une place très importante. Il intégra par ailleurs d'autres facteurs dans la fonction d'évaluation, tels que la

mobilité, les pions restants, les pièces du jeu couvertes etc. Turing ne disposait pas encore d'un ordinateur pour mettre ses théories à l'essai et il devait par conséquent se contenter d'une simulation manuelle. Les résultats obtenus en pratique par cette théorie furent très peu convaincants.

Un groupe d'études à **Los Alamos** (1956) appliquait une règle d'arrêt d'un nombre fixe de coups, à savoir quatre demi-coups. En partant d'une position donnée on analysait alors toutes les possibilités. Le matériel et la mobilité prédominaient dans la fonction d'évaluation. Comme le groupe d'études ne disposait que d'un ordinateur lent, les expériences furent menées sur un échiquier de format plus petit : 6 sur 6. L'ordinateur ne remportait de succès que contre des joueurs très faibles, qui venaient d'apprendre les règles du jeu, précisément et uniquement dans le but de pouvoir perdre contre l'ordinateur.

Bernstein (1957) travailla avec une machine plus perfectionnée et put donc expérimenter son programme sur un échiquier de dimensions

▶ Le joueur d'échecs automatique surclassera-t-il un jour le champion humain?



La programmation du jeu d'échecs sur ordinateur électronique met en évidence un intéressant parallèle entre l'action purement gratuite du joueur et l'action efficiente dans la vie courante. Connaître plus sur l'homme, tel est le but ultime de ce travail sur la machine.

normales. Il examina sept continuations plausibles dans toutes les directions jusqu'à quatre demi-coups en profondeur, ce qui revient à une analyse de $7 \times 7 \times 7 \times 7$ soit 2.401 variantes.

Qu'une continuation soit possible ou non, c'est une série de "générateurs de coups" qui en décide, dont chacun est en fonction d'une caractéristique déterminée du jeu d'échecs, telle que : influence au centre, état de développement, sécurité du roi. Le programme de Bernstein est meilleur que celui de ses prédécesseurs mais il fait apparaître encore trop de lacunes pour pouvoir faire face à un amateur pas trop faible.

Newell, Shaw et Simon (1958) ont travaillé de façon à peu près similaire. Ils font usage de deux générateurs, l'un pour la suggestion du coup, l'autre pour l'analyse. Leur programme comporte des objectifs incorporés qui ont directement trait à la pratique. La différence la plus caractéristique que comporte leur enquête, comparée à celle de leurs prédécesseurs, consiste dans le fait que l'évaluation ne se fait pas de façon numérique mais à l'aide de vecteurs qui découlent des différents objectifs. La valeur d'un coup déterminé s'accroît considérablement lorsque ce coup optimalise plus d'un objectif.



Revenons-en à l'Euratom. L'équipe qui entreprit l'étude se composait de représentants de la science, de l'art de jouer aux échecs et de la technique des ordinateurs.

L'enquête se déroula en un certain nombre de phases, dont chacune pénétrait le problème plus profondément que la précédente. L'existence d'un parallèle entre le jeu d'échecs et une action efficiente, soit une pensée axée sur un but défini, s'avéra ainsi de plus en plus certaine (du moins pour l'auteur de cet article).

— *La phase préliminaire* : l'insertion des règles du jeu dans le programme de la machine.

Cela signifie que, lorsque nous soumettons à la machine une situation quelconque sur l'échiquier, cette machine doit pouvoir indiquer tous

les coups réglementaires dans cette situation donnée, sans approfondir auparavant la valeur réciproque de ces coups.

Analogie avec l'action efficiente : avant de pouvoir réfléchir à une décision, il faut d'abord savoir quelles options sont possibles pour autant que ces options soient en concordance avec les "règles du jeu", les lois en vigueur de la bienséance, de la morale et du droit. — *La première phase* : un programme est établi pour les échecs numériques, où l'on tient exclusivement compte de coups qui influencent directement les relations matérielles : battre, échanger, menacer, etc. La composition d'un programme ayant ce but est facilitée par le fait que la comparaison des différentes possibilités repose sur une évaluation que l'on peut définir exactement, à savoir le matériel des deux parties.

Cette phase peut se comparer dans la vie quotidienne avec la façon d'agir quelque peu primitive qui est exclusivement basée sur des considérations d'ordre matériel.

— *La deuxième phase* : le fait de tenir compte du rôle absolument déterminant du roi.

Le roi est la pièce la plus importante du jeu d'échecs. Si le roi est perdu, la partie est terminée. La valeur du roi doit par conséquent être considérée comme infiniment grande. Il s'en suit que le joueur d'échecs peut se permettre des pertes matérielles lorsque celles-ci accroissent les possibilités de conquérir, tôt ou tard, le roi adverse.

On sacrifie donc des valeurs matérielles à long terme.

Le mobile matériel prédomine ici également, il est vrai, mais de façon moins directe.

Insérer cette tactique dans un programme n'est pas chose aisée et il n'est pas possible, par ailleurs, de le faire de manière parfaite. On procède par essais et par tests tout comme lors de l'expérience psychologique que nous venons d'esquisser. Cette démarche rejoint les considérations de Shannon en ce sens qu'elle fait également apparaître une sorte de fonction d'évaluation.

Sa concordance avec la vie réelle doit s'envisager comme suit : l'action efficiente repose dans ce cas également sur des considérations matérielles, bien qu'on tienne compte en cela de termes plus longs. On décline un gain matériel direct, on accepte

même une perte matérielle dans le but d'obtenir davantage de chance de réaliser plus tard des gains importants.

— *La troisième phase* : introduction de considérations stratégiques. Ici le motif de gain en première instance a complètement disparu. Il s'agit de caractéristiques d'un ordre général, comme un bon alignement des pièces, le contrôle des lignes importantes, l'occupation des postes avancés, etc.

La programmation de ces considérations stratégiques est très difficile. En principe on suit la voie de l'expérience psychologique mais les pas qui mènent vers un programme bien équilibré sont plus petits, les corrections sont plus nombreuses, les changements sont de nature plus subtile. Le point de départ et les relations supposées sont constamment changés et améliorés. Seul l'emploi d'un ordinateur permet d'obtenir un progrès notable en un temps raisonnable.

Si nous comparons cette phase à la vie réelle, les considérations stratégiques concordent quelque peu avec les motifs moraux, qui ne sont pas très nettement délimités et ont plus de poids dans un cas que dans l'autre.

Les motifs moraux forment une base importante pour l'action efficace sans, à ce que l'on suppose, mettre dans la balance l'effet final (Dans le principe rotary cela s'énonce : "He who serves best, profits most").

— *La quatrième et dernière phase* : l'apport de l'apprentissage. Le programme doit être tel que la machine puisse tirer des leçons de ses propres erreurs. Il n'est guère possible de décrire très clairement cet aspect dans un jeu aussi compliqué que les échecs. De cette manière il peut difficilement être démontré. En ce qui concerne les "chequers" plus simples (il s'agit du jeu de dames américain) il s'est avéré possible d'écrire un programme d'apprentissage et cela a permis de remporter quelques succès spectaculaires.

Cette phase - précisément celle-ci - a d'étroits rapports avec la pratique de la vie : apprendre de ses propres expériences, atteindre la sagesse par suite de déboires et d'erreurs. Là non plus il n'est guère aisé de tirer les conclusions justes des fautes que l'on a commises.

■

Cette dernière phase mise à part l'enquête de l'Euratom sur les échecs mécaniques a fourni des résultats plus ou moins importants, bien qu'on ne puisse parler d'étude complète, le temps attribué (deux ans) n'y suffisant pas. Les programmes de la phase préliminaire et de la première phase furent pratiquement terminés. Par contre les programmes de la deuxième et de la troisième phase ne furent établis qu'en principe, tandis que le travail sur la quatrième phase se borna à quelques considérations d'ordre plus général.

Max EUWE



« Restricting the body of knowledge to
« a small group deadens the philoso-
« phical spirit of a people and leads
« to spiritual poverty. » (1)

Albert Einstein.

AUTOMATION et CYBERNETIQUE

Robert J. VAN EGTEN

Ingénieur civil

*Chef du Laboratoire Central
d'Electronique de l'Union Chimique
Belge*

Il serait intéressant d'organiser un "Gallup" parmi les responsables industriels - les administrateurs, les membres du cadre directeur, du cadre supérieur d'exploitation, voire du cadre technique - tendant à leur faire dire ce qu'ils entendent par Automation.

A en juger par l'abondante littérature sur le sujet, il paraît clair qu'il y a autant d'interprétations différentes qu'il y a d'interlocuteurs, et l'on peut se demander s'il est, dans l'industrie, beaucoup de gens à avoir une idée raisonnablement précise de ce qu'est l'automation, de ce que permet l'automation, de l'impact de l'automation sur la forme même de notre existence de demain.

Cet état de choses a incité un industriel anglais à écrire :

« ...Clearly, a massive job of education
« needs to be done to establish wide-
« spread acceptance of the principles
« and advantages of automation...
« Attendance at seminars by top mana-
« gement - chairmen, directors and
« senior executives - should be en-
« couraged;... the effort would be well
« repaid in the long run - simply
« because the right attitudes would be
« created through understanding. » (2)
Citation attribuée à Michael Milne -
Watson.

C'est, en effet, une chose bien étrange que cette confusion, et l'on a quelque peine à admettre cette ignorance apparemment systématique

que dans le chef de ceux-là même qui, les premiers, auront à tirer avantage de l'automation - d'autant plus étrange que cela se passe plus de dix ans après que, pour la première fois en Europe, la matérialisation possible de l'usine automatisée ait été débattue (1955, Congrès de Margate).

Plus que d'ignorance, cependant, c'est d'une certaine réticence qu'il s'agit, réticence que l'on peut tenter d'expliquer de diverses façons :

— le refus d'accepter la fin ultime de l'automation, qui est l'USINE SANS HOMMES, image chargée de dynamite s'il en est : il a été dit, à un Congrès de Productivité, en 1957, que "l'automation est un fléau dont il faut à tout prix limiter les dégâts" cependant que, récemment, John

(1) "Réserver la connaissance à un petit nombre d'individus est une politique qui détruit le sens philosophique d'un peuple; il végètera dès lors dans un état de dénuement spirituel."

(2) "...Il est certain qu'un effort massif d'éducation s'impose afin de faire largement accepter les principes et convaincre des avantages de l'automation... Il faut encourager les responsables au sommet des entreprises - présidents de conseil, administrateurs, directeurs, cadre supérieur - à assister aux congrès, colloques et séminaires;... pareille activité sera certainement payante à longue échéance - parce que l'attitude devant l'automation serait alors conditionnée par la connaissance."



C'est l'automation qui a rendu possible la production de masse tout en libérant le travailleur des tâches fastidieuses. Les machines que l'on voit ici, non seulement travaillent, mais contrôlent la qualité de leur fabrication.

Diebold, dans "Beyond Automation", dit : « ...is this country capable « of developing a culture that does not « depend on work to give meaning to « our lives ? » (3)

— l'automation bouleverse les structures industrielles familières et les structures sociales parallèles; cela implique des investissements appréciables, mais, surtout, la décision d'automatiser est une décision sans retour que la plupart des dirigeants craignent. Diebold, encore, dans "Automation", le livre qui, en 1952, lança le mot, précise : « It is « both erroneous and self-limiting to « think of automation merely in terms « of connecting to-day's machines to « a computer and making precisely « the same things we make to-day, in « much the same way. Product and « process redesign, the analysis of « processes in terms of functions « rather than in terms of the steps « that are now being performed, « RETHINKING of the whole operation « - all these are necessary, important, « and often infinitely difficult problems « which must be solved before business « can begin in any real way to take « advantage of the Aladdin's lamp « which technology holds forth... » (4)

— enfin, last but not least, nous sommes accoutumés à nous appuyer sur un tas de données empiriques accumulées au cours des années, et il faut commencer par démolir cet édifice avant que de rien pouvoir entreprendre, car la façon de penser qui caractérise l'automation est trop différente. Notre formation cartésienne nous a poussés vers des logiques **simples** et concrètes, alors que les raisonnements actuels traitent de choses **complexes** et abstraites.

■

« This is a time of transition... from « the ancient problem of sharing « scarcity to the modern problem of « distributing abundance. » (5)

Adlai Stevenson.

En substance, et au-delà des considérations d'intention qui précèdent, de quoi s'agit-il, et ce dont il s'agit est-il d'une importance qui justifie le trouble que manifeste, sous des formes diverses, l'industrie de nos pays? Bien qu'il ne paraisse

pas utile de refaire ici l'historique de l'évolution qui nous intéresse - tellement d'écrits ont paru sur ce sujet qu'il n'est pas nécessaire d'y revenir - l'on peut admettre que les motivations de l'automation sont suffisamment évidentes, et qu'elles expliquent l'urgence de nos préoccupations.

Dans le monde extrêmement complexe qui nous enserme, le domaine de la production industrielle occupe une place majeure, parce que, au-delà des considérations - quelque légitimes qu'elles soient - de profit et de rentabilité financière, la raison d'être de l'industrie, et sa justification, sont de fournir aux humains qui peuplent la planète - et que nous enverrons, d'ici un siècle ou deux, déverser leur trop-plein démographique sur d'autres planètes conquises - les moyens de rendre possible ce pourquoi ils sont là : vivre et prospérer. Mais cela devient de jour en jour plus difficile : avec son évolution vers une existence meilleure, les besoins de l'individu consommateur s'affinent et croissent. S'il est vrai - et c'est là une des hontes de l'aberration sociale à laquelle conduisent nos systèmes de socialisme politique - qu'il existe encore, **parmi nous**, bon nombre de gens qui ne disposent pas de ce que l'on désigne par cet euphémisme sinistre, le "minimum vital", il n'en reste pas moins que les besoins dont il est question ici visent "le superflu, ce nécessaire", car il est connu que l'homme ne s'épanouit que dans l'abondance.

Ces besoins croissants sont, de toute évidence, à multiplier par le nombre de consommateurs qui, lui, croît exponentiellement depuis que les mortalités prématurées ont été virtuellement éliminées, à multiplier aussi par les millions que sont les hommes qui, aujourd'hui encore vont nus et ont faim, mais qui deviendront, bientôt, des consommateurs de plein exercice. En outre, y a-t-il assez de ponts sur toutes les rivières du monde, assez de navires pour transporter les frêts pondéreux, assez d'autostrades, assez de gratte-ciels pour abriter la fourmilière humaine, assez de centrales électriques, assez de barres d'acier pour armer les bétons dont il faudra bientôt faire des digues pour contenir l'accroissement du niveau des océans provoqué par la fonte des glaces polaires résultant du

réchauffement de la terre qui s'amorce actuellement?

Devant ce déferlement des humains, pour fournir à tous de quoi vivre - mais vivre dans des conditions différentes de celles, abjectes, du "bon vieux temps" - il va de soi qu'il faut des moyens de production à la mesure des besoins. Or, pour de nombreuses raisons, d'ordre technique, économique, social, pour des raisons de répartition du pouvoir d'achat et du coût de production et aussi parce que, très rapidement, la place viendrait à manquer, il n'est tout simplement pas possible de multiplier les usines conventionnelles au prorata de la multiplication des besoins à satisfaire.

Le problème, bien sûr, ne date pas d'aujourd'hui, et l'on s'est préoccupé dans le passé d'accroître les productivités sans pour autant grossir les moyens - humains en l'occurrence - dans une mesure comparable. Cela donna la première révolution industrielle - essentiellement une procédure de mécanisation. De perfectionnement en perfectionnement, l'on en vint à observer que les plus sophistiquées de ces mécaniques se réglèrent, se mettaient en marche, se conduisaient, s'arrêtaient, essentiellement en manœuvrant des manettes et en appuyant sur des boutons; l'on imagina alors la machine automatique, celle-ci étant, dans le principe, une machine qui pousse elle-même sur ses boutons.

(3) "...ce pays est-il capable d'organiser une civilisation où le travail ne sera plus l'argument obligatoire à nos raisons de vivre?"

(4) "Imaginer l'automation comme se résumant à raccorder nos machines actuelles à un "computer" et à fabriquer exactement les mêmes produits qu'aujourd'hui, essentiellement de la même façon, est à la fois une profonde erreur et une restriction volontaire de nos possibilités. Il faut, bien au contraire, réévaluer et le produit, et les procédures de production, analyser ces procédures en termes de fonctions plutôt que sous la forme des opérations qui sont actuellement effectuées; il importe, en un mot, de REPENSER tout le complexe, et cela pose des problèmes inévitables, importants, et souvent infiniment difficiles qu'il faut cependant résoudre avant que l'industrie ne puisse profiter des miracles que la science lui offre..."

(5) "Nous vivons une période de transition entre l'ancien problème de partager la pénurie et le problème moderne de répartir l'abondance..."

Arrivés à ce stade, force nous fut de constater que nos machines étaient parvenues à un niveau de perfection technique tel que, progressant dans la même direction, la probabilité d'améliorations significatives possibles s'amenuisait jusqu'à devenir nulle. Cependant, dans le monde extérieur, les besoins et les exigences croissaient de plus belle, imposant d'avoir à produire toujours d'avantage, de meilleure qualité, et surtout à meilleur marché, alors que, parallèlement, les coûts, tant des outils, des matières que de la main-d'œuvre, montaient en flèche. Nous nous trouvions défiés au-delà de ce qui semblait possible : il fallut, à tout prix, trouver autre chose, mais autre chose qui ne fut pas une extrapolation du "déjà connu". Nous avons, en effet, coutume de progresser par analogie : l'on construit un plus grand pont à partir des données d'un pont

existant qui "tient"; l'on construit une machine automatique à partir d'une mécanique qui fonctionne, et qui elle-même a été conçue d'après un homme qui œuvre. Dans le cas présent, cependant, rien ne va plus, puisque le développement possible des machines classiques a atteint une frontière : en anticipant un peu sur ce qui suit, l'on ne fait pas d'automation à partir de machines automatiques.

« C'était une bien belle machine, massive, puissante, quelquefois dans une gerese. Sa beauté un peu fanée était émouvante, parce que cette machine était la dernière de sa génération, - de la dernière génération d'avant la cybernétique..... »
Pirelli.

Dès leur arrivée dans la salle d'essais, ces moteurs d'automobiles sont "habillés" automatiquement de tous leurs accessoires : carburateur, filtre à air, tuyau d'échappement, etc.



La machine, en soi, quelque complexe, quelque perfectionnée, quelque belle qu'elle puisse être, quelque que soit son activité et quel que soit le domaine dans lequel elle œuvre, n'est jamais qu'un assemblage de constituants minéraux basiquement affecté d'une sorte de cécité, de déterminisme, de stupidité. Dans le sens le plus général, une machine ne sait pas ce qu'elle fait, ni pourquoi elle le fait; elle n'a aucune forme de conscience, est rigidement soumise aux lois de la mécanique, et toute détérioration de ses caractéristiques se traduit par une détérioration de son comportement, de son obéissance: elle ne fait plus ce pourquoi elle a été construite. Toute l'intelligence qui peut apparaître dans son comportement n'existe, en fait, que dans le chef de son constructeur et, accessoirement, de son conducteur. Si l'on a pu, dans le passé, par le moyen de ces machines stupides, assurer des procédures de production quantitativement et qualitativement satisfaisantes à l'époque, ce fut à la condition d'ajouter quelque chose aux machines, ce quelque chose étant l'intelligence fournie par les hommes qui les encadraient.

Il importe ici d'observer que l'emploi du mot "intelligence" - tellement controversé, mais ceci est une autre histoire... - n'implique pas des prestations géniales: lorsque, par exemple, un ouvrier, ayant observé une certaine vibration, donne un tour de clé à l'écrou de blocage d'un porte-outil, il **fournit de l'intelligence**: observation, compréhension, mémoire de connaissances acquises, comparaison, raisonnement, décision... et par souci de simplification, l'énoncé de la séquence d'activités intellectuelles conduisant au geste évoqué a été sensiblement écourté...

Il a été dit plus haut qu'il avait été nécessaire d'**encadrer les machines** par des hommes, et il va de soi que ces hommes sont capables de **communiquer entr'eux**! De plus, lorsque l'on pense "production" - et non pas "technique" - l'on n'accorde guère d'intérêt à **une machine**: c'est l'**ensemble** des machines **intégrées** dans le complexe de production qui constitue l'élément d'intérêt. - Il a aussi été dit, à propos de la machine stupide, que toute détérioration de ses caractéristiques se traduit par

une détérioration de son comportement, et il appert du contexte que l'encadrement humain a, entr'autres, pour objet de corriger les effets de pareilles détériorations qui se retrouvent sur le produit en cours de fabrication, mais aussi de réagir à d'autres causes indépendantes des machines, qui peuvent dégrader le produit: états de l'ambiance, défauts de matière, actions d'autres machines, voire erreurs humaines. Cependant, pour que l'encadrement humain puisse agir dans le cadre des fonctions énumérées, il importe au préalable que l'homme soit **averti** de ce qui se passe: il en est **informé** par sa vue, son ouïe, son odorat, plus rationnellement par des aiguilles qui bougent sur des cadrans, des lumières qui clignotent, des sonneries qui alertent, tous organes qui lui envoient des **messages** codés porteurs d'**information** quant à ce qui se passe d'anormal, n'importe où dans le complexe, susceptible de dégrader le produit. Il est bon de remarquer ici que le "produit" d'un complexe de production peut avoir des formes fort diverses: il peut s'agir de moteurs électriques, de sacs de farine, d'un journal, de solutions mathématiques, de l'ordonnancement du trafic d'une ville, de communications téléphoniques, ou de paquets de chewing-gum...

Bien que ce qui précède ne vise qu'à situer le problème et soit extrêmement élémentaire, l'on peut, cependant, déjà risquer une synthèse: dans l'usine traditionnelle, le complexe de production est constitué d'un **ensemble** de machines dont le fonctionnement est **contrôlé** - via une chaîne complexe d'interventions humaines - par des **informations** prises sur le **comportement** de l'ensemble.

Ici, une parenthèse: le mot "contrôle", en français, est normalement employé dans le sens de "surveillance, vérification, censure" assez différent de celui qu'on lui donne dans le jargon de l'automatique. Il y est extrapolation du mot anglais "control" qui signifie, à des nuances près, "piloter, diriger, contraindre". Par exemple, "to have things under control" signifie "être maître des événements..."; un exemple en français: "par une participation majoritaire, on **contrôle** une entreprise..."

Si, maintenant, l'on fait la syn-

thèse de la synthèse ci-dessus, en ne retenant que les mots soulignés, l'on trouve une définition importante: "**ensemble contrôlé par des informations sur son comportement...**" à laquelle le cybernéticien ajoutera "... dans le cadre d'un **but** à atteindre avec le **maximum d'efficacité...**"

Il est incontestable que pareille définition "colle" assez exactement à la vision d'un complexe de production industriel classique moderne, avec cette particularité que l'intelligence consommée par le **traitement de l'information** est fournie par des hommes. L'on se souviendra de l'ouvrier au tour de clé évoqué plus haut pour comprendre que, avant que l'information brute ne puisse se transformer en une action, il lui faut subir une longue série de traitements, qui impliquent souvent notablement plus que de simples actions réflexes qui sont, dans la matière vivante, appelées "réflexes conditionnés".

Lorsqu'un ouvrier constate qu'une dent d'engrenage s'est brisée, la réaction réflexe est de remplacer cet engrenage, mais ce n'est pas là, nécessairement, la meilleure action possible: il vaudra mieux qu'il **réfléchisse**, qu'il vérifie si cette dent cassée influe sur l'opération en cours sur le produit; si tel n'est pas le cas, la meilleure décision sera **de ne rien faire** pour l'instant.

Lorsqu'un pilote d'avion est informé par l'un des nombreux cadrans de son tableau de bord que la pression d'huile d'un des moteurs est anormalement basse, il est clair que quelque chose doit être fait... Cependant, le but du complexe "ligne aérienne" n'est pas de maintenir une pression d'huile donnée dans un moteur, mais bien d'amener la cargaison à bon port à l'heure prévue. L'action efficace dans le cadre du but à atteindre peut fort bien être de ne rien faire du tout, et de "voir venir", voire même de laisser griller ce moteur...

Ce sont là des exemples des relations complexes qui existent entre des anomalies fonctionnelles et les buts du système, et qui font que les réactions réflexes sont inefficaces. Dans les cas envisagés,

l'action efficace (ne rien faire) résulte du traitement complexe de l'information brute originale (dent cassée, pression d'huile) par l'homme, au prix d'une certaine activité mentale que l'on désigne par un mot vague, mal compris : "penser" lorsqu'il s'agit d'hommes, "mentation" lorsqu'il s'agit de machines, ce dernier terme, anglais, étant intraduisible.



Tout ce qui précède, on l'a vu, s'applique à l'usine conventionnelle - la ligne aérienne étant une "usine à transporter du frêt" d'un point à un autre. Mais nous savons aussi que les machines qui équipent l'usine conventionnelle moderne ont, dans le perfectionnement, atteint un plafond; nous savons également que l'homme qui encadre ces machines, et dont la structure, sous certains de ses aspects, est remarquable, constitue la plus mauvaise machine qui soit; qui plus est, l'homme n'étant, basiquement, pas fait pour travailler - l'imprécation de la Genèse "tu gagneras ton pain à la sueur de ton front..." est une hérésie biologique - il veut, en effet, travailler de moins en moins, et sa disponibilité au profit des fabriques s'amenuise toujours d'avantage. - Observons en même temps que la machinerie conventionnelle a été dessinée en fonction de l'opérateur humain, de ses dimensions, de sa forme, de la nature de ses gestes et de la force dont il dispose. Comme nous sommes amenés à remplacer les agents humains par des mécaniques, il s'en suit que nous devons REPENSER nos machines par la même occasion.

Puisqu'il faut tout de même finir par définir, nous pouvons maintenant dire que l'Automation englobe les activités qui tendent à transformer l'usine en "un ensemble automatique intégré dont les fonctions sont contrôlées par le traitement complexe automatique d'informations sur les effets de son comportement et sur les buts à atteindre avec efficacité."

Une définition peut, quelquefois, être élégante, mais, nonobstant, son pouvoir explicatif est généralement faible. Voyons donc cela de plus

près: l'image évoquée est assez inhabituelle, en ce sens qu'elle implique que l'usine - plus exactement, le complexe de production - s'est transformée en **une seule machine**, depuis la Direction - qui peut être humaine ou être une autre machine - qui énonce les buts à atteindre et les stratégies du système, jusqu'à l'expédition du produit final, en passant par les fonctions secondaires qui se greffent sur toute activité productrice, telles que, entr'autres, les comptabilités diverses, les approvisionnements, les activités de dépannage, etc. Pareille machine est auto-stable parce qu'elle réagit à des variables même imprévisibles, internes de l'ambiance; elle se conduit, se corrige, se dépanne elle-même le cas échéant, et tend, jour après jour, à atteindre le but fixé avec le maximum d'efficacité, élaborant en cours de route des stratégies d'optimisation tant de ses procédures que du produit de ses activités.



Compte tenu de ce que l'évolution scientifique a, depuis 1947, mis à notre disposition des moyens incomparablement plus fins et plus puissants, il n'est pas indifférent de rappeler que, dès cette époque, Sargrove a réalisé, en Angleterre, une usine automatique répondant, jusqu'à un certain point, à la description qui précède. Sargrove, dont il a été dit qu'il a voulu aller trop loin trop tôt, a, en 1956, décrit son usine dans une communication au Premier Congrès International de Cybernétique, intitulée "The anatomy of conscious machines."

La machine en cause est obligatoirement munie d'un grand nombre de "transducteurs" - les analogues, considérablement améliorés, des organes des sens chez l'homme - dont la fonction consiste à observer, en des points stratégiques, l'état du produit ou le comportement local des mécanismes, puis de traduire ces observations en "langage informationnel". Il en découle que, dans le complexe automé, en parallèle avec les organes qui agissent directement sur le produit, il existe un vaste réseau de télécommunications au travers duquel "la machine se parle" et échange des messages.

Si l'on a pu, dans le passé, en mettant en œuvre des machines stupides, assurer des procédures de production quantitativement et qualitativement satisfaisantes pour l'époque, ce fut à la condition d'ajouter quelque chose aux machines, ce quelque chose étant l'intelligence fournie par les hommes qui les encadraient. La cybernétique est en train de confier cette fonction d'intelligence aux machines elles-mêmes.

Certains messages, porteurs d'informations banales, ne subissent que des traitements élémentaires menant à des réactions réflexes (feed-back, feed-forward) et s'échangent directement - via des "unités de calcul" élémentaires locales - entre transducer et effecteur. D'autres messages, porteurs d'informations plus sophistiquées, sont adressés, pour interrogation, à un organisme électronique, généralement central, que l'on dénomme, suivant l'humeur du moment, indifféremment "computer, calculateur, ordinateur", voire "cerveau électronique". Plus exactement, il s'agit d'une "logique électronique" qui examine les messages, les traite par une série d'opérations qui sont l'analogue de l'activité mentale de l'homme qui réfléchit, mais en réalité des opérations de logique mathématique conduisant à une décision. L'information définissant cette décision sera portée par un message envoyé aux effecteurs convenables.

Encore une fois, dans l'intérêt de la clarté de l'exposé, tout ceci est présenté sous une forme extrêmement sommaire, mais on en garde cependant l'impression qu'il s'agit là d'une machinerie extrêmement complexe, apparemment aussi complexe que la dynamique des systèmes biologiques ou des grandes structures sociales. Cette extrême complexité, la difficulté, souvent, des idées en cause, ne sont certes pas niées, et il est incontestable qu'il n'y aurait aucun sens à prescrire des procédures aussi inhabituelles s'il n'existait pas de moyen pratique de les réaliser. Heureusement, il existe une science comparativement jeune qui le permet, une science dont l'optique est à l'échelle des problèmes sur lesquels nous butons : c'est la Cybernétique.

■

« The power of Science is so great
 « that, if we are willing to devote
 « enough resources to the task,
 « utopias can now be converted into
 « realities which create urgent ethical
 « problems for the scientist. » (6)
 René Dubois.

Etymologiquement, cybernétique signifie "l'art du pilote" mais, comme l'observe Etienne, l'étymologie d'un mot n'est pas chose

tellement importante : son sens sera toujours imposé par l'évolution de la langue vivante. En 1947, Norbert Wiener définit la cybernétique comme étant "...the science of control and communication in the animal and the machine..." mais, depuis, le concept s'est considérablement élargi, au point que l'on a été amené, au sein du domaine de la "cybernétique générale" à délimiter le domaine de la "cybernétique restreinte" contenant la "cybernétique appliquée" qui englobe, à son tour, les applications industrielles et analogues. Il en résulte que, vingt ans après le publication de "Cybernetics", la cybernétique de Wiener encadre l'automatisme.

Ceci est important à observer, car cela implique que, en dehors des méthodes de la cybernétique, l'on pourra réaliser des automatisations, des régulations automatiques, des machines automatiques que l'on pourra aligner à la queue-leu-leu, mais jamais l'on n'arrivera à ces ensembles intégrés fortement imbriqués au point de ne plus être qu'un seul organisme individualisé qui résultent de l'automatisme.

Quelles sont ces méthodes - ou, en d'autres termes, en quoi ces méthodes se distinguent-elles des procédés classiques? C'est une question difficile...

■

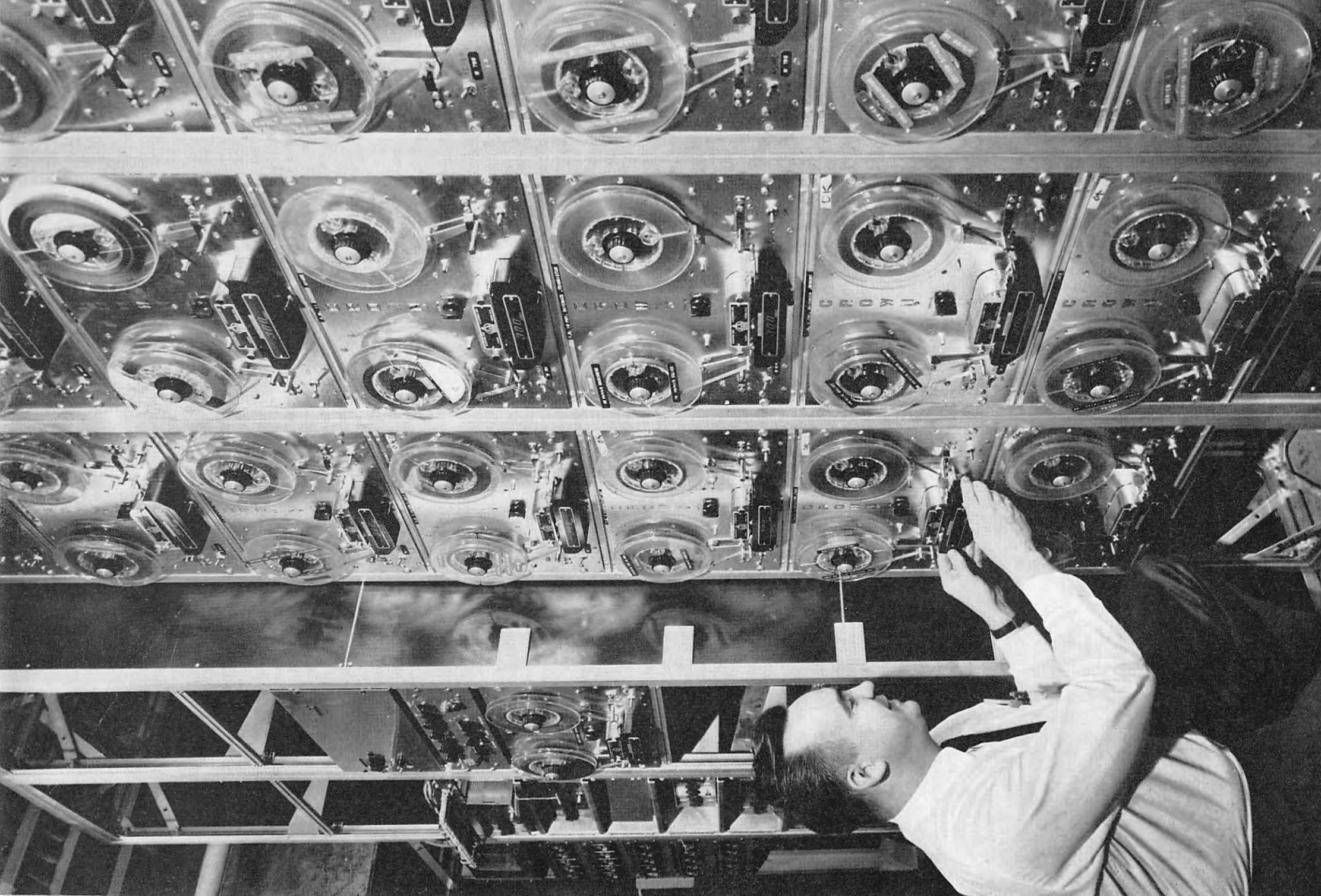
La difficulté est commune à tous les sujets complexes : il y a, d'une part, un problème de langage; le jargon particulier à une discipline donnée utilise des mots courants avec des significations différentes; de plus, l'on n'a que trop souvent pris l'habitude de facilité qui consiste à enfermer des concepts abstraits dans des formulations mathématiques souvent "obscurcs" : dans tous les domaines difficiles de la science, l'on connaît des travaux valables qui comportent des algorithmes difficilement intelligibles à d'autres que leurs auteurs. Dans le cas présent, la difficulté réside en ce

(6) "La puissance de la science est telle que, si nous consentons à mettre en œuvre des moyens suffisants, il est maintenant possible de transformer des utopies en réalités qui posent des problèmes d'éthique urgents à l'homme de science."

On peut automatiser en dehors de la cybernétique. Les chaînes-transfert de l'industrie automobile en témoignent. Mais ce n'est que par la cybernétique que l'on arrive à ces ensembles fortement intégrés au point de ne plus former qu'un seul organisme dont le fonctionnement tout entier est centré sur le but à atteindre. L'automatisation, alors, fait place à l'automatisme.

►

L'information devient une industrie. C'est à la New York World's Fair 1964-1965 que fonctionnait cette extraordinaire machine qui donnait simultanément trente conférences sur des sujets qui s'étendaient de l'histoire des télécommunications à l'explication du laser. La photographie montre le ratelier des bandes magnétiques portant les textes des exposés.



qu'une réponse **compréhensible** à la question posée implique qu'au préalable, l'on "explique" la cybernétique, et chacun comprendra qu'il est peu réaliste de souhaiter cela dans les limites d'un court exposé comme celui-ci. Je veux donc essayer de composer une **image** de la cybernétique par le moyen d'une succession de postulats à propos desquels le lecteur voudra bien me faire confiance en considérant qu'ils sont vrais sans en exiger la démonstration.

La cybernétique, dès l'abord, s'intéresse au **comportement probable de la chose qui bouge**, mais ne manifeste qu'une attention polie à la **chose elle-même**. L'ensemble des comportements constitue une **action** dont la cybernétique veut qu'elle soit **efficace**, ce qui implique l'existence d'un **but**.

Les lois de la physique relativiste se confondent avec celles de la physique traditionnelle lorsque les vitesses sont faibles. De même, les méthodes de la cybernétique se confondent avec les méthodes de la mécanistique conventionnelle lorsque les systèmes traités sont simples et déterministes. La cybernétique s'intéresse à des systèmes probabilistes extrêmement complexes. Un système est un groupe d'éléments de n'importe quelle nature, mais ce groupe ne forme un système que si les éléments sont rattachés entr'eux par des liaisons réactives. La complexité d'un système n'est nullement fonction du nombre des éléments constitutifs, ni du volume qu'il occupe dans l'espace, ni du nombre de dimensions de cet espace, mais bien du **nombre d'états** que peut prendre le système, ce qui revient à dire **"de la quantité d'information que contient le système."** - Ceci est suffisamment abstrait pour justifier quelques précisions.

Considérons un système dans un univers à deux dimensions, et composé de dix éléments. Notre univers sera une feuille de papier, considérée comme étant une surface infinie. Sur cette surface, nous délimiterons le domaine de notre système en y traçant, par exemple, un cercle (un cercle parce que, pour des raisons de simplification, nous considé-

rons notre système comme fermé aux contraintes extérieures). Désignons, à l'intérieur du système, les dix éléments constitutifs par dix points, situés n'importe où à l'intérieur du cercle. Relions maintenant chacun de nos dix points à chacun des neuf autres par des lignes représentant les liaisons réactives, lignes qui seront des vecteurs parce que la liaison A - B n'est pas la même chose que la liaison B - A. Nous arriverons ainsi à tracer $n(n-1)$, soit 90 liaisons. Nous savons, par ailleurs, que ces liaisons sont, en fait, des voies de transmission d'informations et, à un instant donné, chaque liaison transmet ou non une information élémentaire. Puisque de toute évidence, l'état du système est défini par la somme des états de ses liaisons à un moment donné, nous voyons que notre système de dix éléments peut prendre l'un de 2^{90} états possibles à chacun des moments incrémentiels du temps du système, la dimension des temps incrémentiels étant définie par la vitesse de propagation de l'information à l'intérieur du système. Ce chiffre de 2^{90} est déjà formidable, mais il ne révèle pas encore toute la complexité : il est assez clair que l'état d'un système est défini par la somme des états de ses liaisons ET par la somme des états de ses éléments. Or, chacun des éléments peut - ou peut ne pas réagir à l'information reçue, du fait, entr'autres, de son histoire passée qui définit son potentiel d'information au moment considéré.

Point n'est besoin d'insister davantage pour établir que notre système - apparemment si simple - de dix éléments, constitue en réalité un système extrêmement complexe, et que l'état d'un système extrêmement complexe, dans un intervalle de temps donné, est inconnaisable; en effet, l'on ne peut pas "arrêter" le système pour l'étudier à loisir, car dès cet instant la probabilité des interconnexions tombe à zéro, et le système cesse d'être un système pour devenir une collection de bribes et morceaux inertes. De plus, il ne se prête pas à la méthode d'analyse conventionnelle qui consiste à **changer une variable à la fois**, car le fait de changer une variable provoque instantanément le changement d'un grand nombre d'autres variables, voire de toutes les autres variables, ce qui n'est pas sans

analogie avec le principe d'incertitude de Heisenberg.

L'on pourrait rétorquer que nous sommes très loin de la machinerie industrielle, même automatique, et l'observation est incontestablement vraie s'il s'agit du complexe classique **qui est entièrement déterministe**. Mais si ce complexe ressemble à ce qui a été dit plus haut à propos d'automatisme, avec ses feed-back, ses feed-forward, ses réseaux de communication et son computer, l'on concèdera qu'il est impossible, dans un intervalle de temps élémentaire, de connaître - d'une manière rigoureuse et exhaustive - l'état du système.

La cybernétique n'est une science que si ses lois sont vraies dans n'importe quel système. Il est donc loisible au cybernéticien - et il ne s'en prive pas - de transformer homomorphiquement un système à l'étude en un autre système se prêtant mieux à la manipulation, par exemple en une boîte noire. La "black box" contient autant d'information que le système, mais l'intérieur en est noir, ce qui signifie qu'il est impossible d'y voir quoi que ce soit : la structure interne de la boîte noire est donc **aussi inconnaisable que le système dont elle est le modèle**.

Ceci, bien sûr, va faire sursauter le lecteur attentif : comment peut-on, d'un système défini comme étant inconnaisable, établir un modèle qui soit tout aussi inconnaisable?

Seulement, nous n'ignorons pas absolument tout du système considéré : nous connaissons au moins le nombre des éléments qui le composent, puisque, à l'état statique - lorsque le système a cessé d'être un système - **le nombre d'éléments est resté le même**. A partir de là, nous pouvons calculer le nombre d'états possibles du système lorsqu'il sera redevenu dynamique, c'est-à-dire la quantité d'information qu'il pourra contenir, ou, selon les travaux du cybernéticien anglais Ross Ashby, la **"variété"** du système. Il suffira alors de construire une "boîte noire" - construction purement symbolique, on s'en doute - qui contienne autant de variété que le système considéré. Or, la "boîte noire" est, par définition, munie d'un certain nombre de bornes d'entrée et de bornes de sortie : il suffit dès lors de manipuler les bornes d'entrée et de noter

Une usine, même automatique, n'est certes pas vivante, mais l'on ne peut échapper à la constatation que, sous certains aspects, elle se comporte comme si elle l'était. Dès lors, il est licite d'en établir un modèle dont la forme la plus avantageuse sera un organisme vivant, en l'occurrence un organisme humain, puisque celui-là nous est le moins mal connu. Parallèlement, d'ailleurs, on peut, pour l'étude de l'organisme humain, établir un modèle qui soit un schéma d'usine: dans les cours de sciences naturelles datant de bien avant la cybernétique, l'on trouve couramment de tels schémas pour expliquer les fonctions du corps de l'homme.

les messages correspondants qui apparaissent sur les bornes de sortie pour connaître le comportement - ou l'équation de transfert - de la boîte noire, et, partant, du système.

Stafford Beer cite un exemple simple qui éclaire plaisamment le concept. Un tout jeune enfant ignore que le côté de son lit est construit pour pouvoir s'abaisser; ce système est une "machine-pour-sortir-du-lit", mais sa variété est plus grande que la variété de l'intellect de l'enfant. Il adopte donc une attitude "boîte noire" en manipulant les "inputs" du système et découvre bientôt que, par une combinaison de mouvements - secousses, torsions, soulèvement de loquets - il obtient l'„output" désiré: l'abaissement de la paroi et la sortie du lit. Après quelques opérations, il aura mémorisé ceux de ses gestes qui, seuls, conduisent au résultat cherché; ayant appris, c'est-à-dire mis en mémoire un certain nombre d'informations pertinentes, il pourra faire marcher à coup sûr la "machine-pour-sortir-du-lit", détruisant ainsi, pour ce qui le concerne, la variété du système, sa propre variété ayant augmenté d'autant.

Il y a une morale à cette historiette: la machine cybernétique agit de manière à **détruire la variété** du système contrôlé (à réduire le nombre de ses degrés de liberté...) de manière à empêcher qu'il adopte des états autres que ceux qui conduisent au but à atteindre.

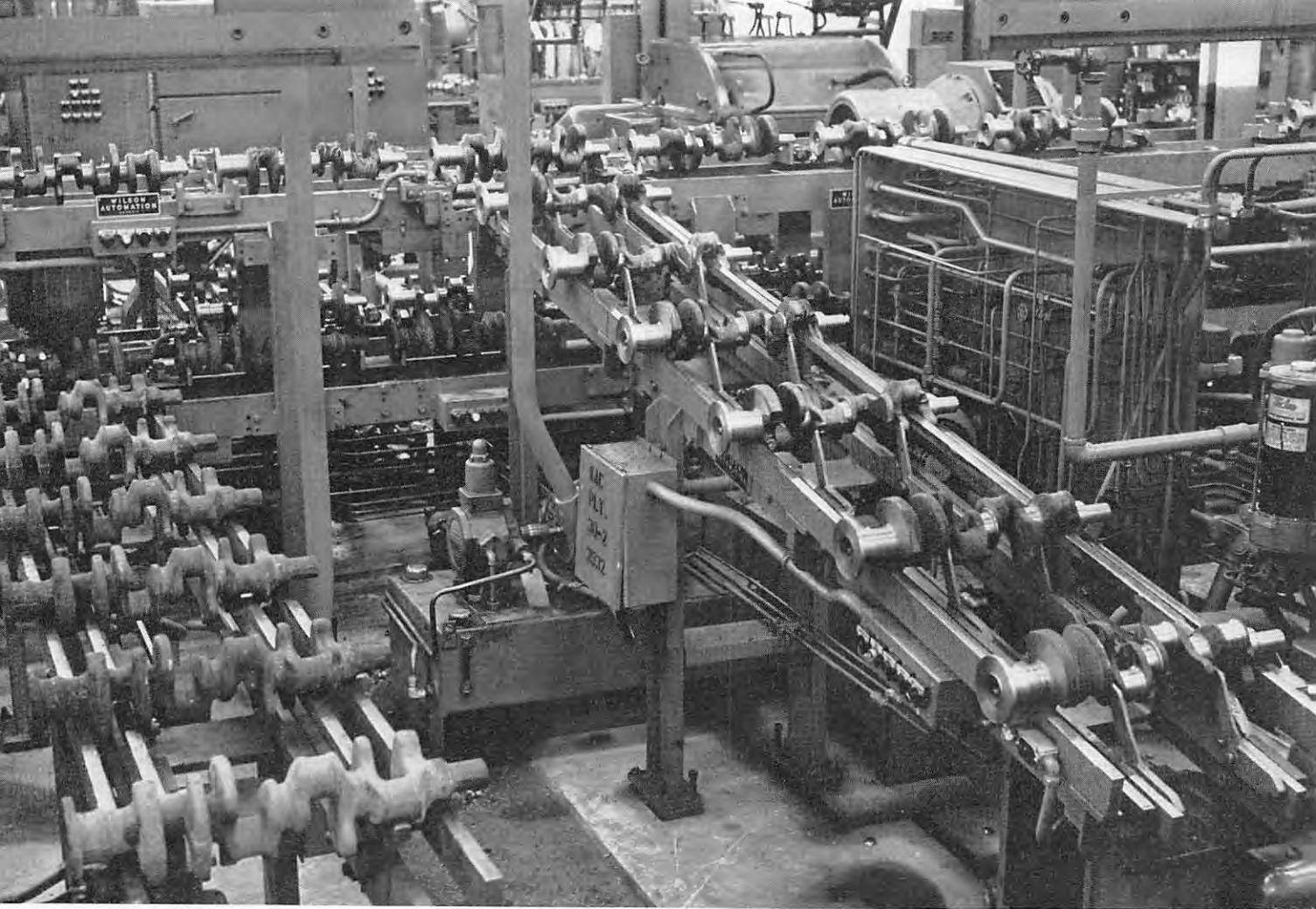


Il a été dit, plus haut, que le système automé constitue une seule machine, mais ici encore, il nous faut faire la distinction entre le dynamique et le statique - car il faut tout de même finir par la construire, cette usine, pierre par pierre, boulon par boulon, machine par machine; dans l'état statique, système au repos, les machines individuelles ne sont plus que des machines très ordinaires, de simples structures minérales, des **machines stupides**. Elles sont tellement stupides que, pour qu'elles bougent, il est nécessaire que **le moindre mouvement** qu'elles exécuteront résulte d'un ordre circonstancié émanant de quel que chose ou de quelqu'un qui soit extérieur à la machine. Ceci est

illustré par la difficulté qu'il y a à élaborer le programme d'un calculateur électronique du type actuel - qui, malgré les apparences, est l'archétype de la machine stupide à laquelle il faut, minutieusement, fastidieusement, dire point par point ce qu'elle doit faire. Nous retrouvons exactement la même situation dans le système industriel automé, où une quantité fantastique de perceptions, décisions et ordres d'action devra être traitée par unité de temps, avec cette circonstance aggravante que l'opérateur humain qui programme le computer n'existe pas ici.

Une usine, même automatique, n'est certes pas **vivante**, mais l'on ne peut échapper à la constatation que, sous certains aspects, **elle se comporte comme si elle l'était**. Dès lors, il est licite d'en établir un modèle dont la forme la plus avantageuse sera un organisme vivant, en l'occurrence un organisme humain, puisque celui-là nous est le moins mal connu. Parallèlement, d'ailleurs, on peut, pour l'étude de l'organisme humain, établir un modèle qui soit un schéma d'usine: dans les cours de sciences naturelles datant de bien avant la cybernétique, l'on trouve couramment de naïfs schémas d'usines pour expliquer les fonctions du corps de l'homme.

L'on se rend facilement compte de ce que l'organisme humain est, lui aussi, un système extrêmement complexe où un nombre fantastique d'interactions se produisent constamment - même quand l'homme dort - tellement fantastique qu'il semblerait que leur ordonnancement constitue un problème formidable, même pour son cerveau aux huit milliards de cellules. Stafford Beer, encore, qui affectionne ce genre d'images, donne un exemple: Vous êtes, dit-il en substance, préoccupé par un problème, et, plongé dans de profondes réflexions, vous vous promenez dans les allées d'un parc. Vous êtes, à ce moment, une "machine-à-résoudre-un-problème". Or brusquement, de parmi un groupe d'enfants, on vous lance une balle que, d'instinct, vous allez attraper: instantanément, la totalité de votre organisme se transforme en un système extrêmement dynamique, une "machine-ballistique-à-attraper-la-balle", et très peu de votre volonté consciente participe à cette transformation. Beer a eu la curiosité de noter, en détail, la succession



De cet enfer, l'homme s'est libéré grâce à la technique. La machine ne travaille pas contre l'homme, mais pour lui.

des événements qui se produisent dans l'organisme à l'occasion de cette transformation et de l'activité de la "machine-à-capter-la-balle" qui n'existe que pendant quelques secondes. Cette énumération remplit quelque 150 pages... et à peine 1 % de ces événements atteignent votre conscience.



L'on peut conclure de ceci que la matière vivante a résolu le problème de l'extrême complexité d'une manière fort élégante, par l'organisation des **fonctions inconscientes**. En effet, si l'homme était conscient de chaque battement de son cœur, de chaque dilatation de ses poumons, de chaque sécrétion de ses glandes, mieux, s'il devait, chaque fois, **décider** chacun de ces actes, il est hors de doute qu'il serait rapidement névrosé. L'élégance de la solution réside en ce que la presque totalité de ses organes sont groupés en des ensembles homéostatiques, sans liaison **habituelle** avec la conscience. Incidemment, en jargon

cybernétique, un ensemble homéostatique est un système qui, spontanément et indépendamment des ensembles qui l'entourent, se maintient dans un état d'équilibre: la température du corps reste constante à une fraction de degré près; l'oxygénation du sang est toujours exactement en équilibre avec l'effort fourni; l'oreille interne maintient toujours en équilibre ce système éminemment instable qu'est le corps humain marchant debout, tout ceci en ne faisant jamais appel, dans des conditions normales, au cerveau, siège supposé des décisions conscientes. Les liaisons avec ce dernier ne sont cependant pas absentes, mais elles ne deviennent actives que dans le cas où "quelque chose ne va pas". Il est vrai que la matière vivante a disposé de quelques millions d'années pour s'organiser ainsi, mais la méthode des modèles permet de s'inspirer de son expérience.

Nous allons donc, sans pour autant morceler l'unité fondamentale de notre usine, la subdiviser, **mais du point de vue informationnel seulement**, en un certain nombre de cellules qui, par l'appli-

La matière vivante a disposé de quelques millions d'années pour s'organiser, mais la méthode des modèles permet aux ingénieurs de s'inspirer de son expérience. C'est ce que font les promoteurs de l'usine automatique qui s'efforcent, à bien des égards, d'imiter la vie.

cation de feed-backs, seront chacune homéostatique, cellules que nous organiserons en un certain nombre de groupes également homéostatiques. Ici, cependant, une difficulté se présente, car l'homéostasie d'un groupe implique qu'il soit affecté d'un but, à atteindre avec le maximum d'efficacité. Mais cette efficacité peut être antagoniste à l'efficacité d'autres groupes du système : si, pour fixer les idées, un circuit de production d'un accessoire - qui constitue un des groupes envisagés - est particulièrement efficace, il aura tôt fait de convertir toutes les ressources financières du système en un stock démesuré des accessoires en cause, puisque le groupe en question **ignore les buts globaux** du système. Nous allons, dans pareil cas, nous servir de notre réseau de télécommunications par lequel chaque groupe, dès qu'il se comporte d'une manière dommageable pour les buts globaux du système, **mais dans ces cas-là seulement**, sera contrôlé par le computer central dont le rôle est d'ordonner le comportement des groupes dans le cadre des stratégies globales de l'entreprise.



« Il ne faut pas se méconnaître : nous sommes automates autant qu'esprit »
Pascal.

Il a été montré que, dans l'usine conventionnelle, l'intelligence consommée par le traitement de l'information est fournie par des hommes. Or l'usine automatique traite également l'information, mais sans aucune intervention de l'homme. Il n'y a, par conséquent, qu'une alternative : ou le comportement des hommes, dans le cadre de l'usine classique, n'est pas un comportement intelligent, ou **les machines informationnelles de l'usine automatique sont intelligentes...**

L'on conçoit sans peine que pareille proposition soulève immanquablement des tempêtes de protestations, car l'homme, héréditairement convaincu de sa supériorité sur tout ce qui l'entoure, déjà déçu par la constatation qu'il n'est, physiquement, pas si supérieur que ça, se cabre lorsqu'on entend lui démontrer que le domaine de son intelligence n'est pas aussi infran-

gible qu'il le croyait, et que, là aussi, la machine s'apprête à prendre la relève.

Dans l'immédiat, il n'y a pas lieu à panique; il faut bien admettre que - hors du laboratoire - l'intellectualité de nos machines se situe probablement au niveau de l'éponge, ou de l'amibe.. mais il n'en reste pas moins qu'il importe d'être extrêmement prudent à propos de semblables appréciations. Chacun connaît les travaux de Pavlov; le fait que le chien salive lorsque retentit la cloche a été attribué au **réflexe conditionné** parce que l'on est parti d'un postulat qui nie l'intelligence animale. Or, personne n'est en mesure de démontrer - avec la rigueur scientifique - que ce "réflexe conditionné" n'est pas, en réalité, une **association d'idées**, le mot "idée" pouvant s'appliquer à des représentations mentales. Or, le chien est certainement capable de représentations mentales, puisqu'il rêve... et la création d'images mentales est incontestablement un indice de réflexion, donc d'intelligence, au moins élémentaire.

Le cybernéticien ne se préoccupe pas de savoir si les machines dont il s'occupe sont ou non intelligentes parce que cela n'a aucun sens : il n'existe aucune définition valable de l'intelligence qui permette de la mesurer autrement que par des évaluations intuitives, et la question se pose s'il est nécessaire de savoir ce qu'est l'intelligence pour créer des machines dont le comportement soit intelligent. En effet, au même titre que l'électricité, la lumière ou le temps, l'information et l'intelligence sont des abstractions qui n'ont aucune existence réelle en dehors de notre perception de leurs effets, et cela ne nous empêche pas d'utiliser à notre gré l'électricité, la lumière et le temps. Puisque le mot "intelligence" désigne, basiquement, une qualité humaine, nous pouvons dire que, si une machine a un comportement identique au comportement d'un homme qui accomplit un acte réputé intelligent, il n'est pas possible de distinguer entre les deux; par conséquent, cette machine-là, dans le cadre de ce comportement-là, est intelligente, et il est absolument irrationnel de s'interroger sur la nature de cette intelligence.

A la faveur de détours de ce genre qui, à tout le moins, évitent

Dans une usine conventionnelle, l'intelligence consommée par le traitement de l'information est fournie par des hommes. Or l'usine automatique traite également de l'information, mais sans intervention humaine. Il n'y a, par conséquent, qu'une alternative : ou le comportement des hommes, dans le cadre de l'usine classique, n'est pas un comportement intelligent, ou les machines informationnelles de l'usine automatique sont intelligentes...

les difficultés sémantiques, il n'en reste pas moins qu'en laboratoire, les cybernéticiens cherchent la mécanisation de l'intelligence, et bon nombre de résultats sont déjà acquis qui, s'ils ne sont pas prêts à être insérés tels quels dans la technologie, sont cependant loin d'être illusoires. Ces recherches sont nécessaires car, si réellement, nous voulons en arriver à libérer du souci de leur subsistance l'ensemble de nos semblables, nous serons forcément amenés à construire d'immenses complexes automatiques capables de produire, en quantités énormes, tout ce dont l'homme peut avoir besoin. Il est assez probable qu'aucun homme, aucun groupe d'hommes, ne sera plus capable de conduire pareils complexes, d'autant plus qu'ils devront constamment évoluer avec l'évolution des besoins humains. Ils devront donc posséder leur propre intelligence dont il semble qu'elle sera **différente** de l'intelligence humaine, pour autant que l'on puisse encore faire des comparaisons à ce niveau.

Albert Einstein a dit que "le bon sens n'est que l'accumulation, dans notre esprit, des préjugés qui y furent déposés avant l'âge de dix-huit ans..." et, s'il lui a été possible d'élaborer ce monument qu'est la théorie de la relativité, c'est en grande partie parce qu'il s'est toujours foncièrement méfié de ce "bon sens", dont la plupart des implications sont régulièrement controuvées. Aussi, pour terminer, aimerais-je mettre le lecteur en garde contre ces proclamations d'hommes de bon sens que l'on rencontre à tout propos, telles que, par exemple :

— "Jamais encore les audacieuses promesses des cybernéticiens ne se sont réalisées..."

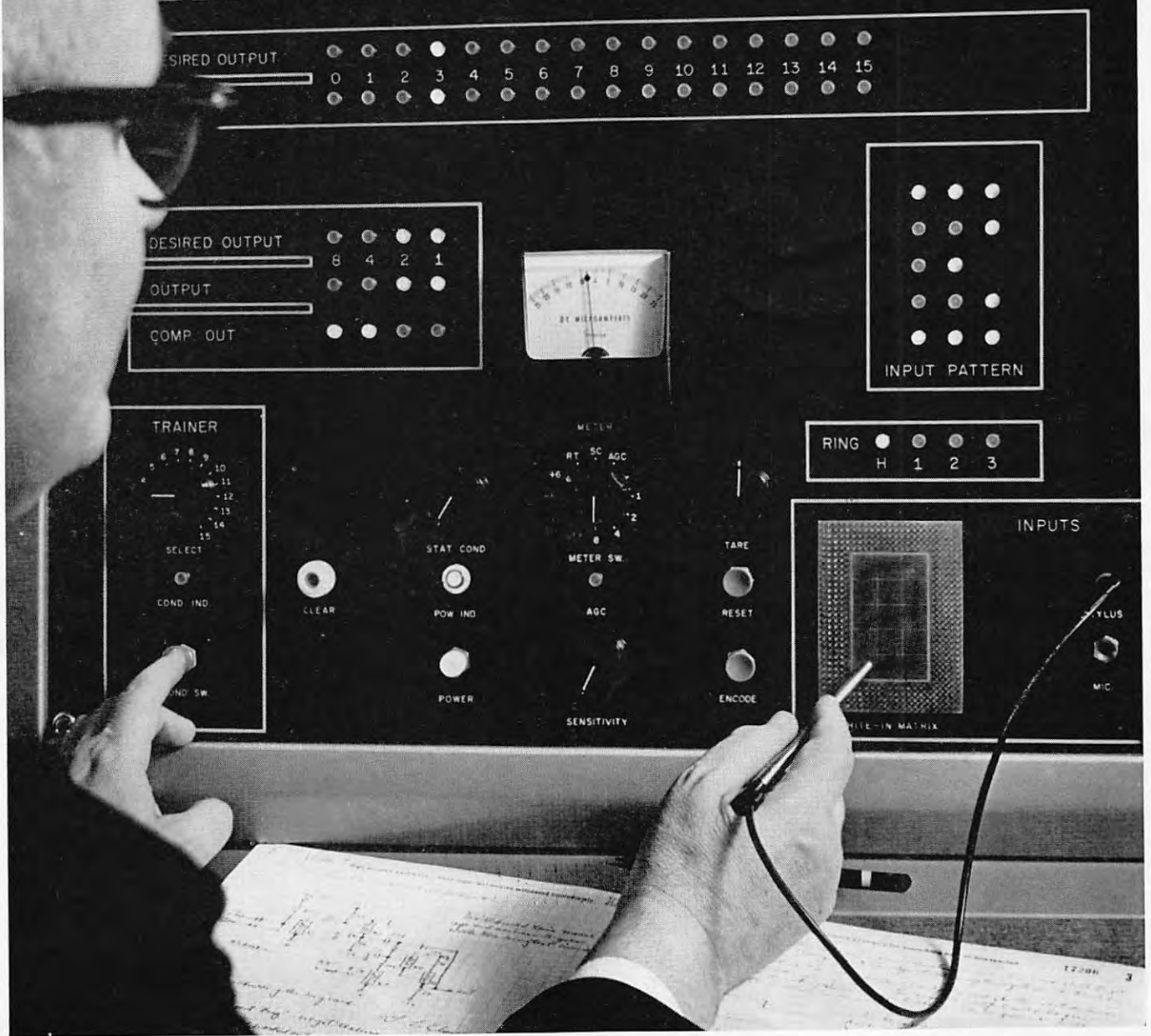
— "Nous avons aujourd'hui une vision suffisamment réaliste pour pouvoir relire, avec quelque commiseration, les élucubrations des Gray Walter, Ashby et autres Wiener..."

— "Jamais une machine ne pourra "sortir" autre chose que ce que l'on y a mis au préalable."

— "Il faut, à tout prix, bannir l'imagination des froides équations de nos ingénieurs..."

Robert J. VAN EGTEN

Sous peine de se trouver rapidement dépassé, l'attitude à adopter est l'attitude prospective qui tient que tout est possible, que les plus folles utopies sont réalisables, et si, d'aventure, la preuve du contraire était faite, il ne faudrait guère longtemps - l'expérience du passé le prouve - pour qu'une nouvelle découverte vienne renverser cette preuve. Tout est possible, mais, parallèlement, naissent des symptômes troublants de déshumanisation de l'homme qui soulèvent une question terrible: l'individu humain pourrait-il, à temps, être rendu digne du sort que la Science lui prépare? De vivre, étant enfin libéré de la contrainte de ses besoins, dans un monde où, selon le vœu de Wiener, il pourra se grandir à la mesure de son esprit?



Des machines qui apprennent

Gordon A. PASK

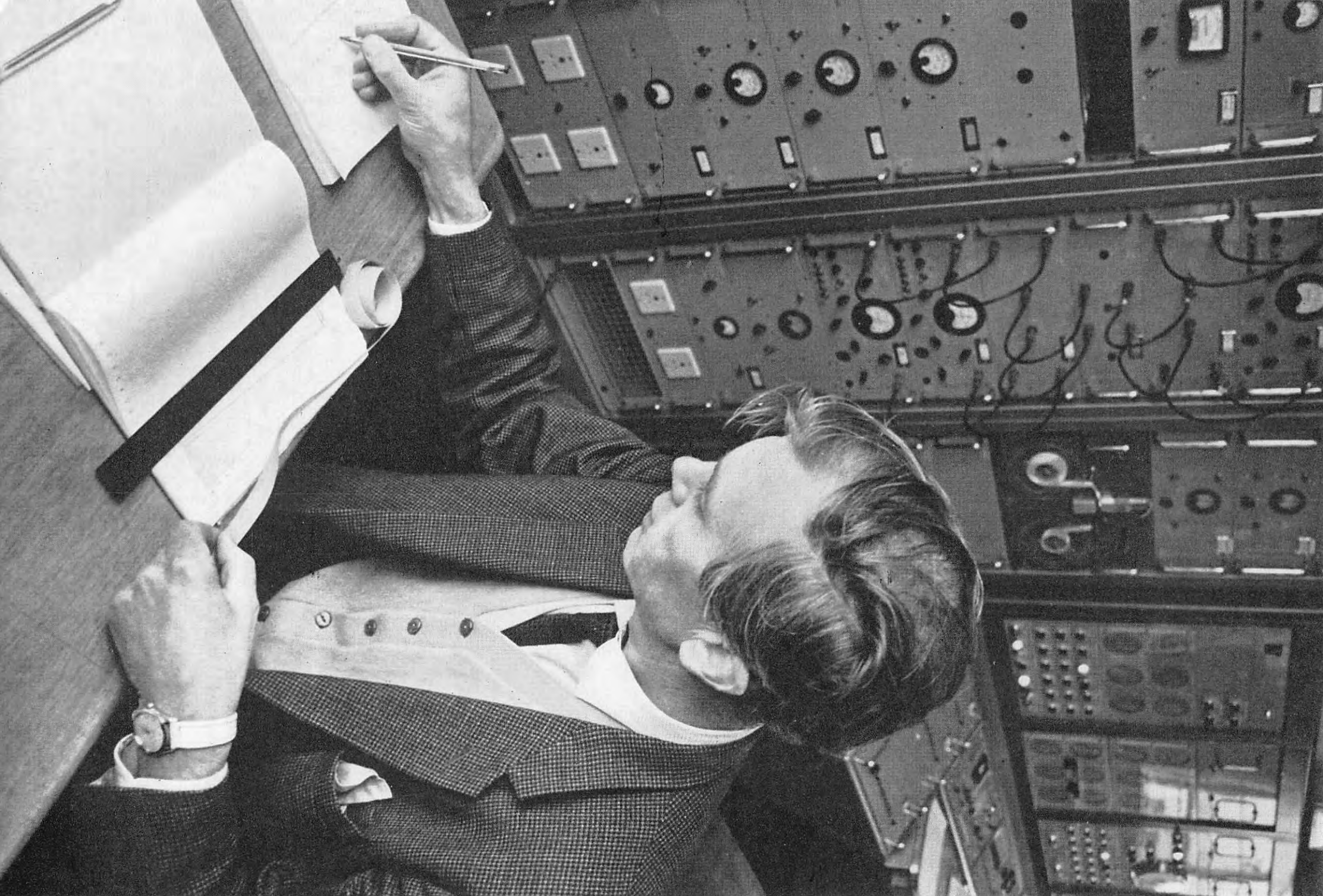
*Directeur de la System Research Ltd
Richmond - Grande Bretagne*

J'appelle "machine à apprentissage" n'importe quel système qui peut se construire et qui fait montre de la faculté "d'apprendre". Sur la signification qu'il faut donner ici à ce terme, je reviendrai plus loin. Je me borne à indiquer pour l'instant qu'une machine à apprentissage peut être construite ou réalisée comme un produit ouvré dans un but particulier, ou encore être simulée sur un ordinateur électronique (auquel cas elle est constituée par l'ordinateur lui-même).

L'intérêt des machines à apprentissage présente des aspects multiples et leur développement ouvre des perspectives extraordinaires.

Premièrement, ces machines constituent des outils expérimentaux ou conceptuels pour l'étude du comportement de l'homme et des animaux. Elles nous offrent alors des modèles imitant la vie. L'une des premières machines de ce genre a été la tortue électronique de Grey Walter. Elle reste d'ailleurs toujours l'une des plus subtiles et des

La machine, désormais, est capable d'apprendre. Elle n'est plus un automate aveugle et stupide. L'engin que l'on voit ici peut être "éduqué" à reconnaître diverses formes, en particulier les lettres de l'alphabet et les chiffres de la numération.



plus intrigantes parmi toutes celles qui, parfois sous d'autres aspects et sous d'autres noms, furent construites ultérieurement.

Deuxièmement, les machines à apprentissage peuvent apparaître comme composantes de systèmes de calcul et de contrôle utilisables dans la pratique (traitement de l'information au moyen de machines adaptatives, contrôle industriel, etc.). Dans ce cas c'est la machine elle-même qui tire ses règles de conduite de l'observation du milieu ambiant dont les caractéristiques sont ignorées, du moins partiellement, de celui qui a conçu l'engin.

D'une façon très générale enfin, on peut dire que la cybernétique biologique - dans son ensemble - est très largement concernée par l'étude des phénomènes d'apprentissage et de leur possibilité d'imitation par des machines.



Qu'est-ce que l'apprentissage? Quand pourra-t-on dire qu'une machine est capable d'apprendre?

Il est bien évident qu'un préalable indispensable à toute fonction d'apprentissage est, pour le système envisagé, la possibilité d'être le siège de modifications adaptatives. Une machine qui modifie sa structure ou son comportement à la suite de certaines expériences est certainement capable d'adaptation (tant soit peu, de toute façon). Mais il est bien évident que l'adaptation n'est pas une propriété qui suffit, à elle seule, à justifier le terme "apprentissage" ou "étude", bien qu'elle en soit une condition préalable.

La façon la plus simple de se comporter qui mérite le titre d'apprentissage, c'est probablement "l'adaptation dirigée vers un but". Dans ce cas, les modifications que subit la machine se font dans une direction déterminée, qui dépend à tout moment du fait qu'elle s'efforce d'atteindre un but déterminé, qu'elle est animée d'une certaine finalité.

Le point crucial, en l'occurrence, c'est que le but est une entité logiquement compliquée. Si l'on veut pouvoir spécifier un but et signaler à la machine que, par suite de son comportement, elle s'en approche ou s'en éloigne, il faut la doter d'un appareil qui la détache de son

milieu, de sa propre situation, et aussi qui permette de décrire ce détachement en termes d'attributs pertinents à la poursuite du but. Cet appareil doit être capable de déclencher et de contrôler des actions qui seront favorables à la finalité de la machine. Il doit pouvoir acquérir des connaissances quant aux succès et aux échecs de l'engin, et y provoquer des changements de configuration interne de façon à maintenir au taux le plus élevé possible, à chaque instant, la probabilité d'atteindre le but. Certaines de ces exigences, cependant, pourront n'être satisfaites que de façon limitée ou même dégénérée, et il est fort instructif de considérer une succession de machines qui illustre la genèse de l'adaptation dirigée vers un but.



La première de ces machines est l'homéostat de Ross Ashby. Ce savant a conçu l'engin comme un modèle organique. Il a posé un but de "survivance" qui, en termes du modèle, dépend du maintien d'un équilibre dynamique de quatre systèmes de contrôle "feedback" couplés en fonctions de connaissances. Ils agissent de façon à annuler les perturbations introduites par l'expérimentateur qui agit comme milieu ambiant de la machine.

Le complément des systèmes de contrôle est obtenu en spécifiant des patrons de connexions qui se transforment les uns dans les autres jusqu'à ce que la stabilité soit obtenue.

On peut, évidemment, considérer les systèmes couplés comme un système unique de contrôle, et la transformation des patrons de connexions comme une modification de la structure de ce système. Si on fait cela, on est conduit au paradigme qui représente un système de contrôle adaptable organisé hiérarchiquement dans le sens où l'entendent Tarjan, Mesarovic et d'autres chercheurs.

L'homéostat est un cas limite parce que la règle d'ajustement ne fait que sélectionner, à chaque coup, le numéro qui suit dans la liste des patrons de connexions. On aurait tout aussi bien pu mettre en œuvre, pour le choix des numéros de liste,

Le professeur Ryle examine les résultats que lui fournit un nouveau radio-télescope dont le fonctionnement est complètement automatisé. L'homme de science, à l'égal du travailleur de force, est lui aussi libéré des aspects routiniers de son travail.

une technique de hasard. Mais le point essentiel est que, dans les deux cas, le concept d'apprentissage a été réduit à une organisation hiérarchique de systèmes qui ne mettent en jeu que la notion la plus simple de contrôle ou de direction vers un but, conjointement à la propriété d'accoutumance.

En tout état de cause, l'adaptation dirigée vers un but apparaît ainsi comme étant essentiellement le contrôle du contrôle dans un système ayant des propriétés rétentives.

Les fonctions ainsi envisagées peuvent être assurées par des mécanismes de natures bien différentes. J'en mentionnerai quelques-uns.

Il y a tout d'abord les réseaux d'éléments logiques liminaires avec une valeur liminaire adaptative variable ou une connectivité continue avec un détecteur de la proximité du but. De tels systèmes ont été développés notamment par Rosenblatt et Widrow.

Viennent ensuite des machines de probabilité conditionnelle du genre de celles qui ont été construites par Uttley, Steinbuch, Marron, ainsi que par Bailey, McKinnon, Wood et moi-même.

Citons enfin une hiérarchie d'algorithmes mécanisés, comme dans les travaux de Glushkov, Lerner et Napalkov, ainsi qu'une hiérarchie de mécanismes de contrôle.

Jusqu'à présent je n'ai envisagé les systèmes de contrôle que comme des dispositifs passifs, qui annulent les perturbations dans leur milieu ambiant. Par conséquent, "apprendre" n'est apparu que comme un processus principalement réceptif. Or, cette contrainte n'est ni essentielle, ni usuelle. Je vais la supprimer par étapes.

La première consiste à introduire, dans la machine, un organe actif ou sélectif constituant une source de variation interne. Le système qui en résulte est déterminé pour perturber son milieu ambiant en l'absence de toute perturbation externe. Cela permet (entre autre) à la machine de rechercher des indications quant à la "forme" du milieu ambiant "par rapport" aux types d'opérations qu'elle est capable d'effectuer sur ce milieu.

Un tel système pourrait, peut-être, s'appeler "sans repos". Il est obligé d'agir continuellement. Il imite, par exemple, le comportement des animaux dans le laboratoire expérimental.

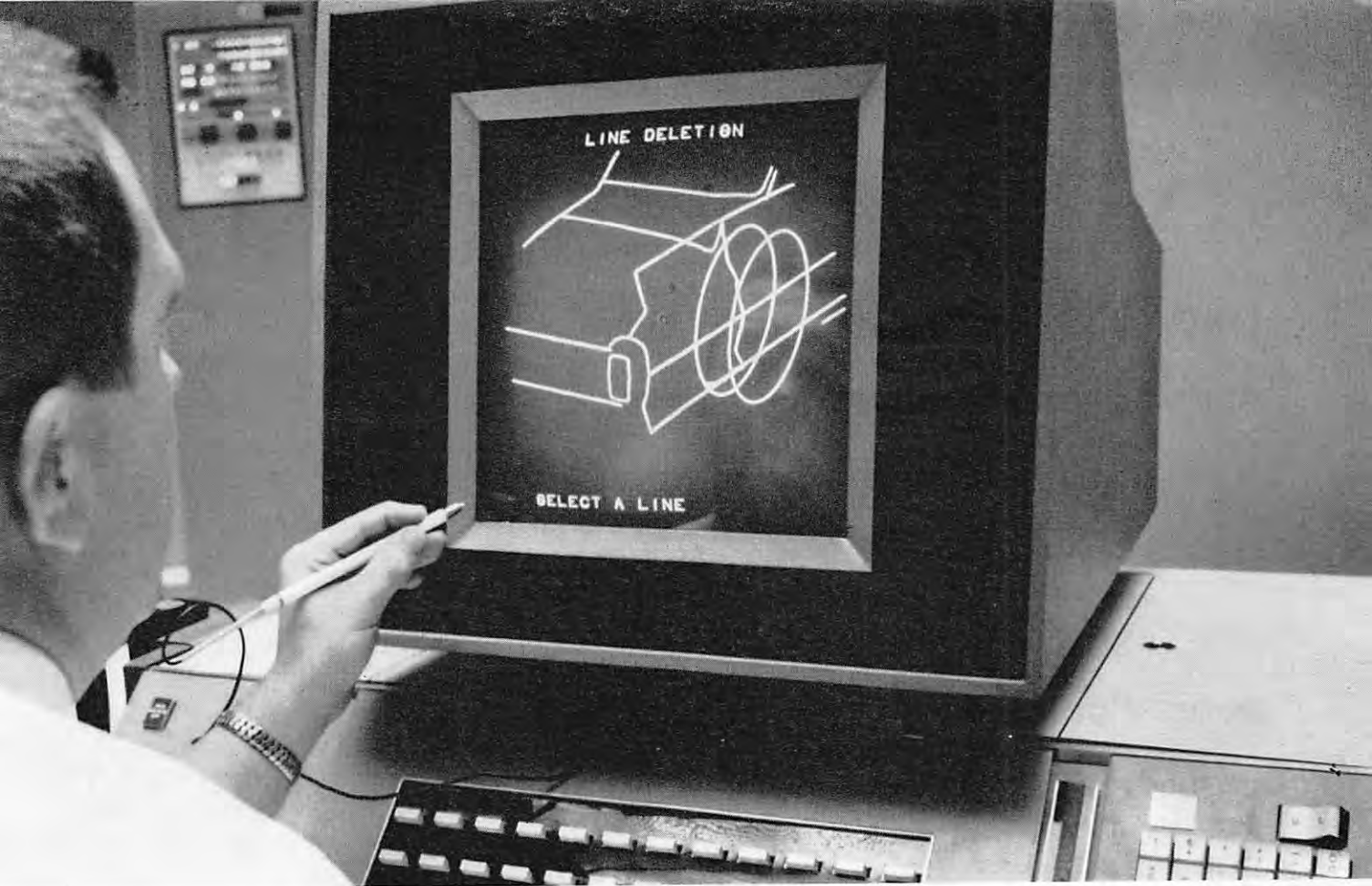
L'étape suivante de la construction conduit à un engin qui non seulement est "sans repos", mais fait également preuve de curiosité en ce sens qu'en plus de ses qualités opérantes, il est déterminé pour "apprendre" au taux minimal. Ceci signifie que si son milieu ambiant ne change pas et si le système a atteint son but, il commencera à construire des stratégies nouvelles pour atteindre ce même but. Dans certaines conditions cette propension peut être un inconvénient, mais il est bien certain que ce type de machine est capable d'un genre d'apprentissage plus convaincant.

Une fois de plus, le modèle peut être réalisé de diverses façons. C'est ainsi qu'Andrews a songé à des machines de probabilité conditionnelle modifiée, tandis que Beulle, Farley, Clarke et d'autres ont eu recours à des réseaux adaptatifs auto-oscillants.

Mais il nous faut maintenant dépasser l'idée de l'adaptation dirigée vers un but, et pénétrer dans le domaine de l'étude des concepts.

Un concept est une prescription d'une classe d'états internes ou externes. Les machines que nous avons prises en considération n'atteignent l'étude du concept que comme cas limite. Elles sont capables d'acquiescer un concept, mais leur déficience à cet égard est démontrée par le fait que si le caractère du milieu ambiant change (même lorsque le but est fixé), la machine doit réapprendre un autre concept.

C'est en continuant dans cette voie et en élargissant toujours la construction que l'on va prêter à la machine la capacité de *construire* et de *communiquer* des descriptions au-delà et en plus de sa capacité d'*employer* des descriptions. Ceci nous conduit dans le domaine des systèmes de contrôle qui actionnent des symboles et font usage "d'intelligence artificielle". Dans leur essence, ces systèmes sont faits pour résoudre des problèmes.



Le dialogue entre l'homme et la machine, encore très rudimentaire il y a peu de temps, se diversifie rapidement. Ce technicien donne, au moyen d'un "crayon électrique", des ordres pour l'exécution d'un dessin industriel. L'ordinateur électronique se charge de la réalisation effective. C'est ainsi que si l'on donne à la machine le centre et un point d'une circonférence, elle trace la circonférence elle-même; que si on lui ordonne d'effacer telle ligne qu'on lui désigne en un endroit seulement, elle en effectue automatiquement la suppression totale; etc.

La structure des machines qui opèrent sur un milieu ambiant symbolique est connue techniquement sous la dénomination de *structure cognitive*. Les principes de pareille structure sont dérivés soit de la psychologie, soit de la logique. Occasionnellement ce sont des principes hybrides, conçus partiellement dans chacun des deux domaines. Afin de faire une distinction très large, disons que les règles pour les systèmes d'intelligence artificielle d'Amarel, de Banerjes et de Minsky ont une origine principalement logique, tandis que celles de Simon, Fiegenbaum, Hunt, Reitmann et quelques autres sont surtout d'origine psychologique.

Il est important de se rendre compte du fait qu'une intelligence artificielle s'occupe de descriptions du milieu ambiant (qui est ici un entourage symbolique) plutôt que de s'intéresser directement à des objets ou à des événements. Un tel système de contrôle symbolique est capable d'apprendre les concepts requis, par exemple, pour le contrôle d'un processus industriel complexe ou le contrôle prophétique d'un milieu ambiant modérément régulier. Il peut interagir avec l'homme, servant alors d'aide pour la réalisation de certaines performances. D'une manière générale, il peut appliquer certaines relations aux informations et produire des résultats selon une analogie donnée par l'emploi de règles introduites dans sa structure cognitive. Comme engin mathématique, par exemple, il peut démontrer des théorèmes, même lorsqu'on lui présente un matériau nouveau. Toutefois, à ce niveau, le système est incapable de produire une relation d'analogie nouvelle ou de sortir du système donné comme le fait le mathématicien lorsqu'il fournit les preuves d'une proposition. On pourrait résumer ces déficiences en disant qu'un tel système est incapable d'innover. Il ne peut s'engager avec pénétra-

tion dans l'étude des concepts ou dans une activité créatrice.

Une dernière étape reste donc à franchir. Elle consiste à remplacer des boîtes solutionneuses de problèmes par d'autres boîtes, dites solutionneuses de problèmes actives. Ceci va doter le système de "programmes évolutionnaires" du type discuté par Fogel, Toda, von Foerster et moi-même, et provoquer le développement de la structure cognitive par évolution sélective. On peut démontrer qu'un tel système est capable de se charger du contrôle de milieux ambiants irréguliers et statistiquement fort changeants. Il peut innover et est capable de s'engager avec pénétration dans l'étude de concepts.

Je ne puis m'étendre sur ce sujet dans le cadre du présent article. Je me bornerai, pour terminer, à attirer l'attention sur le fait que la propriété d'innovation s'avère être une propriété qui dépend de la combinaison des programmes de solution de problèmes et des mécanismes ordinateurs dans lesquels ils sont insérés. Mais ce n'est ni une propriété des programmes seuls, ni des mécanismes seuls.

Gordon A. PASK

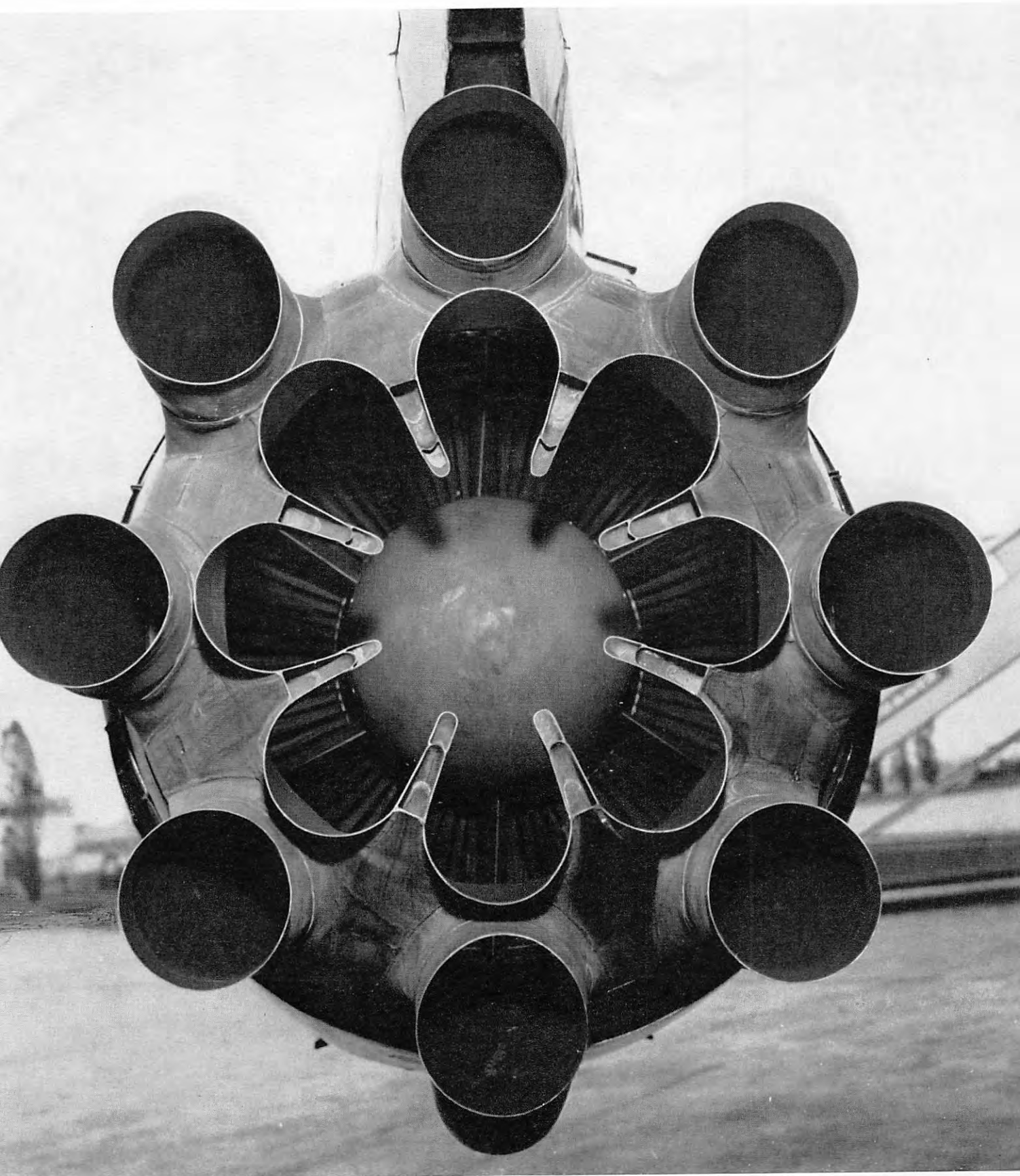
Il est difficile de penser à un problème pour lequel une sélection, un choix approprié ne sont pas nécessaires et suffisants pour trouver la solution.

Il est d'ailleurs évident que de nombreux tests de mesure de l'intelligence sont notés d'après le pouvoir de sélection du candidat. Il n'est donc pas impossible que ce que l'on appelle couramment "puissance intellectuelle" ne soit rien d'autre qu'un pouvoir de sélection.

S'il en est ainsi, comme nous savons que le pouvoir de sélection peut être amplifié par des machines, il semble possible d'amplifier mécaniquement le pouvoir intellectuel comme le pouvoir physique. Les gènes réalisent cette amplification chaque fois qu'ils produisent un cerveau "meilleur".

Ce qui est neuf, c'est que nous pouvons maintenant envisager de le faire de façon synthétique, consciente et délibérée.

Ross Ashby



*La civilisation technologique est aux mains des visionnaires.
Nous en entrouvrons seulement les portes.*

Réacteur du Boeing 707

BP review est édité par **BP** Belgium s. a.

JAN VAN RIJSWIJCKLAAN 162 - ANVERS