

Zeitschrift: Revue syndicale suisse : organe de l'Union syndicale suisse
Herausgeber: Union syndicale suisse
Band: 58 (1966)
Heft: 7

Artikel: Les conditions de l'apprentissage chez les animaux vivants et l'imitation de la vie dans les automates-animaux
Autor: Hartmann, Georges
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-385412>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les conditions de l'apprentissage chez les animaux vivants et l'imitation de la vie dans les automates-animaux

Par le *Dr Georges Hartmann*

Chargé de cours à la Faculté de droit et des sciences économiques et sociales
de l'Université de Fribourg

« Une analyse rigoureuse de la machinerie du cerveau est le gage de sa compréhension », écrivait déjà Setchénov en 1803. Or, aujourd'hui, s'appuyant sur la cybernétique théorique, la cybernétique biologique, dénommée par certains « bionique », comprend une branche particulière, la neurocybernétique, qui étudie la commande et la communication dans le système nerveux des êtres vivants. L'étude de l'activité nerveuse supérieure est en effet impossible sans une analyse détaillée du réflexe inconditionnel en tant que liaison nerveuse stable. La forme la plus simple d'apprentissage réside dans la modification d'une réaction inconditionnelle sous l'effet d'une stimulation plusieurs fois répétée. C'est l'effet d'accoutumance ou d'apprentissage. Et l'aptitude à l'accoutumance, à l'apprentissage, à la modification de la réaction au cours de l'acquisition de l'expérience individuelle, caractérise précisément les systèmes biologiques constituant l'objet spécifique de l'analyse évoquée plus haut.

Toute conduite est une réaction à une excitation. Il y a donc apprentissage dans la mesure où une réaction se modifie de manière systématique en cas de répétition de la même situation stimulante ou d'un phénomène dépendant d'une expérience antérieure d'une situation donnée.

Greco distingue trois variétés d'apprentissage: les apprentissages dans lesquels le sujet acquiert une conduite nouvelle, adaptée à une situation d'abord inconnue de lui, et dont l'établissement s'explique essentiellement par les sanctions que l'expérience apporte aux essais ou aux prévisions plus ou moins aléatoires ou arbitraires du sujet; puis les apprentissages dans lesquels l'expérience et les constats ont pour fonction de confirmer ou d'infirmer des hypothèses: dans ce cas, au sens de Piaget, le fondement de l'apprentissage est une assimilation du réel aux structures du sujet avec la rétroaction qui s'ensuit parfois sur ces structures elles-mêmes; enfin, les apprentissages structuraux ou les structurations en fonction de l'expérience dans lesquels la fonction de l'expérience est de déconcerter, de mettre en déroute les schémas antérieurement constitués.

Le professeur Paterson, de l'Université de Strathclyde, à Glasgow, admet que six sortes de décisions peuvent apparaître dans l'organisme biologique: aux niveaux du végétatif (cellulaire), de l'automatique (réflexe), de la routine (réflexe de Pavlov), de l'interpré-

tation (réaction à un état unique) de la programmation et de la morale. En effet, de par sa nature, le système vivant est un système à régulation automatique, c'est-à-dire un système à tendance homéostatique. Or, l'auto-adaptation ou adaptation automatique à certaines conditions constitue une préoccupation moderne qui s'étend à divers domaines de la technique. Est-ce peut-être parce que Réaumur a créé le mot « automatisme » au comportement des abeilles pour évoquer les processus d'action qui, chez les êtres vivants, rappellent ceux des automates ou peut-être encore parce que les textes du plus grand automatiste de l'ère électromécanique, l'Espagnol Torrès y Quevedo, sont imprégnés de l'idée que l'automatisme est l'imitation de la vie, que nous nous sommes déterminés à écrire ce qui suit?

On sait que la médecine moderne n'a fait ses grands progrès que grâce à la méthode expérimentale de Claude Bernard, méthode qui semblait toutefois pendant longtemps inapplicable dans le domaine de la psychiatrie et de la psychologie. La difficulté a été résolue à partir de l'expérimentation animale, dont le rôle a été considérable dans les progrès de la psychologie, et notamment à partir du développement des réflexes conditionnés, des névroses et des psychoses expérimentales chez les animaux. C'est ce qui a du reste fait dire à des médecins tels que Pavlov, Jong, Fessard, Puech, David, Rougerie, Pitha, Baruk et tant d'autres que la méthode de la psychopathologie expérimentale chez les animaux était de par ses effets le plus sûr garant du respect de la personne humaine.

A l'origine, en 1895, dans une conférence devant la Société des médecins russes de Saint-Petersbourg, Pavlov avait démontré la sécrétion psychique de l'estomac, c'est-à-dire la sécrétion gastrique provoquée chez un chien (dont l'œsophage avait été sectionné et séparé de la cavité gastrique) non par le contact de l'aliment avec l'estomac, mais par la vue de la viande et par la mastication de celle-ci uniquement. Pour Pavlov, précurseur des données psychosomatiques, les réflexes conditionnels étaient des réflexes acquis, s'opposant aux réflexes innés, classiques. On sait qu'une oiselle privée accidentellement de sa nichée et cherchant des compensations porte par instinct maternel des vers à des poissons rouges, par exemple. Or, s'il y a là programmation héréditaire et instinctive, il peut y avoir aussi dans d'autres cas une programmation acquise par apprentissage.

On peut dire qu'il y a apprentissage dans la mesure où une réaction se modifie systématiquement en cas de répétition des mêmes causes stimulantes ou en cas de dépendance d'une situation antérieure stimulante. Dans le domaine de l'apprentissage animal, les psychologues distinguent les réactions d'habituation (chez les animaux inférieurs), les réactions ou réflexes conditionnés de Pavlov, les réactions discriminatives ou de choix, les réactions d'orientation spatiale acquise (phénomènes d'acquisition ou d'apprentissage dans

un labyrinthe), les réactions de dressage, les réactions d'apprentissage intelligent (adaptation correcte même avec des essais, mais sans acquisition progressive) et les réactions de conditionnement instrumental (un rat placé dans une cage devant un levier, apprend à abaisser ce levier si cela lui permet d'obtenir de la nourriture).

En 1894, en présentant ses célèbres observations sur son fox-terrier et sur d'autres animaux, C.-Lloyd Morgan démontra que le comportement animal s'explique par des mécanismes très simples: élimination progressive des erreurs, consolidation des bonnes réponses par le seul effet de la répétition et sans présupposer chez l'animal une quelconque faculté de juger ou de raisonner. De son côté, depuis 1898, E. Thorndike a étudié chez l'animal l'apprentissage associatif: enfermés dans une boîte munie d'un dispositif mécanique approprié (puzzle-box), des chats, des chiens, des singes, même des poissons rouges devaient appuyer sur un bouton pour se libérer ou pour obtenir de la nourriture. A ce propos, il est curieux de rappeler qu'en 1965, des techniciens des laboratoires de Los Alamos (Nouveau-Mexique) voulaient apprendre à des singes à réagir d'une manière particulière lors de l'apparition de lumières sur un tableau: or, comme ces singes recevaient une légère décharge électrique chaque fois qu'ils échouaient, ils ont très rapidement découvert qu'il leur suffisait de se tenir par les mains et les pieds contre les parois de plastique de la cage pour éviter la décharge et ainsi perturber le programme des tests auxquels ils avaient été soumis. Comme Thorndike devait le déclarer après 1930 et comme l'ont aussi soutenu bon nombre de théoriciens de l'apprentissage, ces résultats confirmaient que le tâtonnement était le processus caractéristique et fondamental de la résolution de ces problèmes. Ainsi, le comportement d'un animal dans un labyrinthe n'est pas dû au hasard, mais dépend d'acquisitions antérieures, de l'expérience résultant des essais, des réussites et des échecs précédents.

L'observation montre que l'animal vit en général dans le présent: certes, il peut réagir à une situation antérieure lorsque celle-ci se reproduit de manière identique, et l'on a alors affaire à une réponse, à un réflexe conditionnel de Pavlov: le rôle de l'apprentissage retentit grandement sur le comportement de la psychologie animale. Mais l'animal ne peut pas prévoir une situation future. A côté du réflexe simple, il y a des réflexes conditionnels enrichis sans cesse par les diverses situations qui constituent en quelque sorte un réseau d'habitudes, un apprentissage qui formerait ainsi toute la trame de la vie psychique. Le psychisme animal ne serait en somme qu'un appareil de plus en plus complexe de réponses aux situations extérieures.

A ce propos, rappelons que dans le pavillon « Education, formation et recherche » de l'Exposition nationale suisse 1964, l'Institut pour les recherches cérébrales de l'Université de Zurich a présenté,

en guise de trait d'union entre la biologie et l'électronique, une expérience d'apprentissage dirigé chez des pigeons. L'Institut zurichois a voulu démontrer que les pigeons ne reçoivent leur nourriture que s'ils apprennent à frapper du bec un certain nombre de fois contre deux lucarnes jumelées. Les pigeons sont ainsi incités à accomplir une suite compliquée d'interventions physiques contre la première lucarne (= oui) et contre la deuxième lucarne (= non), comparables à un cadenas chiffré devant être actionné en connaissant la clef pour qu'il s'ouvre et libère de la nourriture. Après un certain nombre de jours d'apprentissage, les pigeons atteignaient un nombre de coups justes approchant de 100 % : selon le pigeon-cobaye choisi, le nombre des réussites variait entre 60 et 75 %.

Le processus de cette expérience repose sur des études du psychologue américain Skinner: il y a conditionnement lorsque le pigeon apprend dans un laps de temps très court, que certaines réactions (piquer du bec sur une lucarne qui s'illumine après un certain nombre de coups: p. ex. quatre fois à droite et une fois à gauche) sont récompensées par de la nourriture. Chacun de ces succès dirige et renforce les performances de l'intellect de l'animal, ce dernier paraissant agir comme s'il s'apercevait des conditions dans lesquelles il sera récompensé. La récompense active davantage le processus d'apprentissage que la punition, et l'absence de récompense suffit à éliminer de fausses réactions.

A ce principe s'ajoute celui des « petites étapes progressives » ou d'« enseignement programmé » où le but final assigné au pigeon exige une activité difficile qu'on lui fait apprendre en six étapes successives. En présence d'un choix de six décisions à prendre, l'apprentissage touche aussi bien les nombres que la suite des couleurs rouge et bleue. Le but est atteint après six différents degrés de programme, qui comprennent chacun deux phases, la phase d'entraînement et la phase de test. Dans la phase d'entraînement, le pigeon apprend à piquer du bec sur une lucarne sans qu'elle s'illumine aussitôt et il ne reçoit aucune récompense. Le pigeon est ensuite adapté à ce programme lorsque la lucarne reste illuminée aussi longtemps que le pigeon donne le nombre de coups de bec exact: alors l'accomplissement de ce programme est récompensé par du grain qui tombe dans une mangeoire. Dans la phase de test, les séquences du rouge et du bleu exercées dans la phase d'entraînement sont accomplies sans l'aide de l'illumination des lucarnes et selon un processus binaire de décision. Comme dans la phase d'entraînement, la récompense suit chaque séquence correcte. Le déroulement de ce programme est surveillé par une installation cybernétique dont les lampes-témoins rouges et bleues s'allument ou s'éteignent. Il en découle un troisième principe, celui du rappel du succès de la performance (rétro-action).

Cette expérience, qui posait donc aux pigeons le problème de becqueter certaines séquences binaires, devait permettre d'une part de trouver des invariants de l'activité neuronale d'un type de cerveau et d'autre part, comme exemple d'un processus de contrôle adaptatif, de donner des indications sur les possibilités de construction de systèmes d'enseignement automatiques.

On retrouve aussi cette même orientation dans la cybernétique et dans les animaux électroniques ou cybernétiques qui sont conditionnés par leur constructeur pour avoir un comportement ressemblant à celui d'un animal vivant.

Dans la cinquième partie du « Discours de la Méthode », Descartes aussi, l'ancêtre de la cybernétique, a résumé bien avant les autres sa théorie des mécanismes animaux d'ailleurs déjà développés dans le « Traité de Monde » qu'il avait, après la condamnation de Galilée, renoncé à publier. Descartes avait déduit « comment tous les organes, qui sont requis à un automate pour imiter toutes celles de nos actions qui nous sont communes avec les bêtes, se trouvent dans le corps des animaux ». Donc l'imitation des animaux ne devait être, pour l'homme, qu'une question de science et d'art.

Depuis Claude Bernard, on a répété que la finalité d'un organisme vivant était le maintien de la constance des conditions de vie dans le milieu intérieur, autrement dit l'homéostasie de Cannon. Laborit et Weber ont souligné que la vraie finalité est le maintien du degré d'organisation de la matière vivante, malgré et contre la tendance au nivellement, à l'entropie. Les mécanismes cybernétiques se rencontrent chez l'être vivant déjà à l'étage de la molécule protéique, puis des organismes intracellulaires. Bien que chaque molécule de protéine se présente de semblable façon sous l'apparence d'une longue chaîne d'acides aminés, il en existe d'innombrables variétés qui déterminent la personnalité spécifique des espèces des individus, transmis sans aucune altération de génération en génération, l'organisme humain ou animal étant ainsi une véritable usine électronique, un véritable système cybernétique où s'élaborent automatiquement les éléments les plus délicats et les plus microscopiques chargés d'assurer le fonctionnement des glandes et des organes.

Si, en cas de changement de programme d'origine endogène ou exogène, l'être peut fuir ou supprimer l'agression qu'il subit de la part de l'environnement, dans un temps suffisamment court pour que les organes sacrifiés n'aient pas souffert irréversiblement, la finalité de l'organisme vivant, c'est-à-dire le maintien de son niveau d'organisation, est satisfaite: le retour à l'équilibre homéostatique se fait alors plus ou moins rapidement.

Si les hommes de science se servent d'animaux électroniques non pas « pour instruire les hommes », comme le faisait La Fontaine dans ses contes et dans ses fables, mais pour s'instruire en ce qui concerne les hommes, on ne peut s'empêcher de penser d'abord aux

aiglons qu'Esopé aurait fait instruire à porter en l'air chacun un panier contenant un jeune enfant, en guise de défi à l'égard du roi d'Égypte Nectanébo.

Dès le début de l'histoire des techniques, les premiers objets animés (p. ex. les statues animées des divinités égyptiennes et grecques) étaient déjà anthropomorphes comme le furent plus tard les jaquemarts frappant les cloches des tours des églises ou comme le devinrent dès le Moyen Âge les chefs-d'œuvre automatiques qui se mouvaient, écrivaient, jouaient... Ces anciens automates étaient tous construits pour imposer un ascendant sur l'homme, pour l'imiter ou pour l'amuser: mais ils n'avaient rien d'humain dans leur structure. En revanche, de nombreux automates modernes ont été conçus et construits pour être efficaces et productifs, et c'est pourquoi certains d'entre eux ont été dotés peu à peu de structures internes se rapprochant de celles des corps vivants.

On sait que l'adaptation de l'homme au progrès est due à sa capacité d'apprendre. Chez l'homme, il y a l'apprentissage fonctionnel (processus d'apprendre quelque chose) et l'apprentissage acquis (fait d'avoir appris cette chose). C'est ce deuxième phénomène qui se produit dans une machine dont la structure mécano-électrique s'enrichit d'un ou de plusieurs éléments qu'elle ne possédait pas auparavant. Quand des machines démontrent un certain degré de capacité logique, elles le doivent aux prévisions de leur constructeur. La cybernétique doit prendre en considération la capacité critique qui ordonne généralement un processus de comportement, de calcul ou de travail. Animée par un processus de rétroaction ou de réflexe, cette capacité critique est soumise à des principes de régulation en fonction de l'état final à atteindre. Le choix ou la sélection de plusieurs possibilités d'évolution est réalisé en accord permanent avec le résultat final recherché. L'influence de l'état final sur l'élection de la voie à suivre peut se manifester de deux manières différentes: la machine peut agir d'une façon prévoyante en recherchant dans chaque état intermédiaire l'aptitude de chacun des divers états propres à atteindre le but; ou bien la machine déclenche son action de façon casuelle, accidentelle, fortuite ou de façon empirique, expérimentale en suivant n'importe quel cheminement: elle apprécie alors si l'état atteint correspond bien au but fixé, sinon elle procède de nouveau à la même recherche, mais par un autre cheminement. Or, quand la machine automatique peut conserver dans un organe-mémoire une empreinte du cheminement suivi jusqu'au but, elle réalise un apprentissage utile, parce que cette nouvelle structure acquise, cette mémorisation des actions passées, assurera dans le futur un passage très rapide de l'état initial à l'état final, sans essais et sans tâtonnements.

« Bien qu'il soit impossible d'établir de manière universelle les principes de base de la construction des machines imitant la vie,

car les progrès sont trop rapides », nous dit Norbert Wiener, il paraît toutefois intéressant de mettre en relief certains caractères généraux des machines automatiques construites jusqu'à ce jour. D'abord, ces machines sont fabriquées pour accomplir une ou plusieurs tâches définies et doivent, pour y parvenir, avoir des organes moteurs (analogues aux bras et aux jambes des corps vivants) grâce auxquels ces tâches seront exécutées. Ensuite, ces machines doivent avoir des organes sensoriels (p. ex. des cellules photoélectriques, des microphones, des thermomètres ou autres instruments de mesure, de palpation, etc.), qui non seulement les informent sur les modifications de l'environnement extérieur, mais aussi leur permettent d'enregistrer l'accomplissement ou la non-exécution de leurs tâches ou encore de son exécution non conforme à la consigne imposée. Cette dernière fonction est désignée sous le nom de « feed-back » (alimenté en arrière) ou rétro-action ou réflexe, ce qui n'est pas autre chose que la possibilité de définir la conduite future des actions de la machine par les actions passées qu'elle avait enregistrées. Le « feed-back » peut être aussi simple que celui du réflexe normal ou être plus élaboré dans le cas où l'expérience passée est utilisée non seulement pour assurer la régulation des mouvements spécifiques de la machine, mais encore pour déterminer sa ligne de conduite future. Ce dernier type de « feed-back » aboutissant à la détermination d'une conduite ou d'un comportement n'est qu'un réflexe conditionné ou, sous un autre aspect, le fruit d'un apprentissage. Pour toutes ces formes de comportement, et particulièrement pour les plus compliquées, des organes de décision centraux doivent pouvoir déterminer ce que la machine va exécuter à partir tant de l'information qui lui est donnée que de celle qu'elle a emmagasinée, mémorisée par des moyens analogues à la mémoire des êtres vivants.

Il est facile de construire une machine automatique simple qui, par exemple, sera attirée par la lumière ou au contraire la fuira. Mais si une machine de ce type comporte elle-même une source lumineuse, cette machine va montrer des formes compliquées de conduite sociale, comme l'a décrit le Dr Grey dans son livre « Le cerveau vivant ».

La mise au point des calculatrices actuelles a été précédée même par de nombreuses expériences de laboratoire, notamment par celle de l'ancêtre des animaux électroniques, par le chien « Philidog », présenté par son constructeur Piraux, chef de la propagande technique de la société française Philips, au Salon international de la TSF de 1929 à Paris: ce chien artificiel avait la propriété de suivre la lumière et même d'aboyer. C'est par deux cellules photoélectriques placées chacune dans un œil que le chien était sensible à la lumière, que « Philidog » était devenu un automate dont les actions étaient prévisibles.

Un autre « chien électronique », sensible à la chaleur, devait être présenté en 1939 à l'Exposition mondiale de New York.

D'ailleurs, avant 1939, un ingénieur de la Bell Corporation, aux Etats-Unis, avait conçu une expérience encore plus audacieuse pour la mise au point d'une installation électronique capable de se souvenir du numéro de téléphone composé par un abonné et d'explorer ensuite par tâtonnements toutes les lignes pour trouver un circuit libre aboutissant au numéro demandé. Cet ingénieur construisit à cet effet une petite « souris électronique » aux moustaches de fils de cuivre et avec trois roues en guise de pattes. Ce petit chef-d'œuvre se ruait dans un labyrinthe à la recherche d'un morceau de fromage sous forme d'une borne électrique. Ce jouet de laboratoire mit une minute pour atteindre la première fois son but après s'être cogné de nombreuses fois en rebondissant contre les obstacles et les fonds de couloir sans issue. La seconde fois, la petite souris électronique atteignit son but en quinze secondes par le chemin le plus court, en réduisant son temps de parcours de 75 % grâce à l'apprentissage du premier essai, grâce à la mémorisation électronique des obstacles rencontrés la première fois et à l'établissement permanent et logique d'une corrélation entre les conditions du second cheminement et les événements analogues survenus la première fois. La petite souris électronique avait ainsi acquis un réflexe conditionnel, se souvenant de son cheminement précédent, ayant fait l'apprentissage de ses propres erreurs passées. Et tout cela s'explique par les seules propriétés physico-mathématiques que son constructeur lui a imposées. La souris a été construite selon le principe de la conservation des liaisons utiles et du rejet des autres. Une machine, si petite soit-elle, devient désormais capable d'apprendre par elle-même de conserver des informations et de réorganiser sa structure interne pour optimiser les réponses qu'on en attend.

Ce principe, expérimenté avec la petite souris électronique, permet de perfectionner des installations automatiques. Par exemple, si l'on recourt à ce principe dans la construction d'un central téléphonique automatique, ce dernier tiendra compte de ce que les communications de chacun des abonnés avec les autres abonnés ne sont pas également probables et que chacun d'eux possède un répertoire individuel des abonnés avec lesquels il se met le plus souvent en liaison. Si le central automatique s'habitue à ces mêmes liaisons plus fréquentes, il travaillera beaucoup plus vite et avec moins d'usure.

En outre, un tel appareil pouvant fournir un modèle de réflexes conditionnels est à même de servir à l'étude de lois physiologiques et dans des recherches de psychologie. En effet, « que de retours difficiles on s'épargnerait si l'on partait toujours d'où il faut », disait déjà saint Augustin.

Dans le même ordre d'idées, en 1943, le Français Lapique publiait à son tour sa « machine nerveuse » pour décrire le fonctionnement du système nerveux et marquer les analogies de ce dernier et des systèmes physiques et mécaniques.

La compréhension du comportement des machines automatiques peut nous instruire dans le domaine de la vie et de l'imitation de la vie et permettre à la science de la cybernétique de progresser.

Si Descartes et Condillac font évidemment figure de précurseurs à ce propos, eux qui posaient le problème d'une correspondance entre l'animal vivant et la machine sans lui donner, certes, de solution, d'autres savants s'en sont chargés depuis: en 1938, Rashevsky, de l'Université de Chicago, avec ses démonstrations de mathématisation des faits humains et des phénomènes de la vie, ainsi que Louis Couffignal, maître ès machines à calculer, avec son analyse mécanique et ses machines à raisonner, en 1948 Mc Culloch et Pitts, de l'Académie des sciences de New York, avec l'étude des phénomènes nerveux par des méthodes de logique mathématique, en 1943 Clark Hull en appliquant l'outillage mathématique à la théorie des réflexes conditionnés, Wiener en expliquant mathématiquement la perception des formes abstraites par le système nerveux de l'être vivant, et John Neumann, de l'Institute for Advanced Studies, en collaboration avec Oskar Morgenstern, par leur analyse des situations psychologiques et des relations humaines abordées d'un point de vue mathématique au moyen d'une stratégie optimale, mettant en lutte deux partenaires réagissant chacun en fonction du comportement de l'autre. D'autres savants encore ont coopéré par leurs essais et leurs expériences à élever toujours plus le niveau d'approche de l'imitation de la vie.

Or, voulant imiter la vie, la cybernétique se doit évidemment d'essayer d'en comprendre d'abord le mécanisme. Les pôles de cette recherche sont, d'une part, les travaux de Grey Walter qui, au Burden Neurological Institute de Bristol, a étudié le comportement des animaux synthétiques qu'il a fabriqués lui-même et, d'autre part, au Barnwood Hospital de Gloucester, la tentative de Ross Ashby de construire un cerveau artificiel.

En plus de ses préoccupations habituelles (déchiffrement des rythmes pathologiques delta et thêta, création des bases des tracés, construction de l'analyseur automatique de fréquences et du toposcope d'analyse spatiale de chaque fréquence électrique dans les diverses parties de l'encéphale, le neurophysiologiste et électronicien Grey Walter a ainsi voulu, au moyen de son couple de tortues électroniques (espèce de *machina speculatrix*), synthétiser des mécanismes animaux, les considérer comme un point de départ et démontrer que des machines dotées d'un très petit nombre d'éléments de sensibilité électronique sont déjà capables d'un comportement qui évoque celui des animaux vivants. En 1948, Grey Walter

a démontré qu'un mécanisme électronique à déplacement autonome et muni d'organes sensibles au contact et aux sons peut stimuler un comportement de réflexe conditionné. Alors que les nombreux autres animaux artificiels fabriqués par d'autres savants ont des comportements du type « réflexe », Grey Walter a réussi à mécaniser l'apprentissage par « réflexes conditionnés ».

En utilisant des circuits électroniques, Grey Walter a ainsi conçu ses deux « tortues électroniques » ELSIE (Electro-Light-Sensitive-Internal-External) et ELMER (Electro-Mecanical-Robot) dont le comportement se rapproche de celui des animaux. Animés du désir de lumière et dans l'horreur de se heurter à un obstacle, livrés à eux-mêmes dans une chambre obscure, ces deux mécanismes électroniques se précipitent vers la lampe qui est allumée. Si la lumière est interceptée par un livre auquel ils se heurtent, ces engins à roulettes reculent, leur mémoire les faisant avancer en zigzag pendant quelques secondes et contourner le livre pour se précipiter de nouveau dans la direction de la source lumineuse. Si le constructeur avait inculqué à ces tortues électroniques plusieurs désirs simultanés, par exemple de lumière, de chaleur, de froid, de silence, les mécanismes réflexes ou rétro-actifs aménagés dans leur carcasse agiraient les uns sur les autres comme dans le système nerveux des corps vivants.

Grey Walter, qui a signé de nombreux travaux avec sa femme et assistante Viviane Walter-Deovey, a construit ses deux tortues avec des carcasses de bakélite et de plexiglas recouvrant un accumulateur, des contacts métalliques, des bobinages électriques, une cellule photo-électrique, une roue-gouvernail avant avec un moteur de locomotion et un moteur de direction et puis deux autres roues folles en arrière. Le courant électrique leur est fourni directement dans une niche très vivement éclairée au fond de laquelle, près de l'ampoule qui les a fascinées et attirées, elles trouvent un contact qui donne à leurs accus le courant électrique.

Lorsque les accus tendent à se vider, les tortues recherchent la lumière comme un animal en quête de nourriture. Lorsque, au contraire, les accus sont chargés au-delà d'une certaine tension électrique, c'est un comportement différent: les tortues recherchent un coin tranquille. Le mécanisme électronique recherche alors un équilibre entre une certaine luminosité et l'obscurité, entre la chasse et la retraite, selon le réglage du courant imposé par le constructeur.

Trois degrés de luminosité agissent différemment. A chacun d'eux les tortues ne réagissent pas de la même manière selon qu'elles sont avides, moins avides ou pas avides de lumière. En présence de ces choix, les tortues apprécient et agissent en conséquence. Quand un obstacle leur barre le passage, elles reculent un peu, avancent de côté et, l'obstacle contourné, elles reprennent leur direction première. Ainsi elles se souviennent de l'obstacle, du

choc éprouvé et font passer la crainte d'un nouveau heurt avant l'attrait de la lumière, puis la difficulté éliminée, elles se remémorent le but final.

Les actes conditionnés des tortues électroniques sont simples: trois arrangements électroniques. Mais chacun de ces actes commande le passage à un autre mécanisme lui-même capable d'autres actes conditionnés: c'est ainsi que la combinaison de ces conditions générales et de ces conditions particulières entraîne un comportement nuancé qui est fonction de la rétro-action, critère de l'automatisme de premier degré.

Le cerveau humain contient plus de dix milliards de cellules nerveuses ou de neurones (dont 90 % restent encore inutilisées). Les tortues électroniques de Grey Walter s'adaptent aux circonstances. Elles possèdent un centre de commandement comportant peu d'éléments qui leur confèrent cependant un comportement complexe capable de reproduire d'une manière stupéfiante des aspects de la vie. Une machine peut donc prendre une certaine autonomie à partir du moment où elle ne subit pas le programme enregistré par l'homme, mais réagit à la contingence par rétro-action. Par exemple en fabriquant deux nouvelles tortues absolument semblables aux deux premières, Grey Walter n'a jamais pu obtenir d'elles des comportements exactement semblables dans des conditions identiques.

Si une tortue analogue à celle de Grey Walter était sensible à la chaleur et au bruit, il y aurait calori-tropisme et sono-tropisme: préférer le silence dans un local froid ou la chaleur dans un local bruyant? La tortue arbitrerait les deux sollicitations. Elle serait une espèce de « machina iudicatrix »¹. Une telle recherche d'équilibre interne entre des sollicitations contraires donnerait une remarquable image de la vie.

En attendant de tels automates, Grey Walter en a construit en 1950 un nouveau modèle: Cora (COnditioned-Reflex-Analogue), petite tortue à réflexes conditionnés capable d'associer le son à la lumière et aux heurts. Connaissant d'une part l'organisation neuronique, d'autre part les processus des réflexes associés, Grey Walter a essayé de comprendre comment ces réflexes pouvaient se former. L'apprentissage de Cora a commencé de la manière suivante: une forte lumière a été présentée à la petite tortue et en même temps on a tiré d'un sifflet un son dont la tonalité était adaptée aux circuits du mécanisme électronique de Cora; après un certain nombre de répétitions, Cora a été sensibilisée à ce son et l'a associée à la lumière. Cet automate a fait son apprentissage: elle est devenue une espèce de « machina docilis. »¹.

¹ Nous empruntons ces notions à P. de Latil, dans son ouvrage « La pensée artificielle ».

En biologie, la stabilisation d'une grandeur ou d'un facteur (p. ex. température du corps maintenue à 37 degrés) s'appelle une homéostasie. L'homéostasie est la faculté pour un organisme de maintenir relativement constant un certain état d'équilibre. Cette théorie a été développée vers 1930 par le physiologiste américain Walter Cannon, de l'Université de Harvard. Or, dès que l'esprit humain veut essayer de réaliser des « modèles cybernétiques de fonctions physiologiques », il peut concevoir la reproduction mécanique d'un équilibre homéostatique. Se fondant sur la théorie de Cannon, il appartenait à un psychiatre anglais, W.-Ross Ashby, directeur du Laboratoire de recherches de Barnwood House, à Gloucester, de construire un « homéostat ».

Ainsi, la plus révolutionnaire des machines cybernétiques est l'homéostat de W.-Ross Ashby, de Gloucester et professeur à l'Université de l'Illinois à Urbana, machine qui recherche et trouve en permanence son équilibre en poursuivant toujours la même finalité malgré toutes les variations de l'environnement et de sa structure interne. Le psychiatre britannique Ashby a voulu ainsi créer une machine qui soit dotée d'une des caractéristiques essentielles de la matière vivante: la faculté de s'adapter, dans certaines limites caractéristiques de l'espèce, aux changements pouvant survenir dans son environnement, et même à des modifications internes: c'est ce que le physiologiste américain Cannon a appelé « homéostasie ».

Pour expliquer l'origine des conduites adaptatives, Ashby a proposé en 1960 de concevoir le cerveau sur le modèle d'un homéostat. Or, le propre des modèles mécaniques construits à cet effet est précisément de comporter des structures opératoires, combinées avec un jeu de probabilités des connexions.

Cette conquête d'un nouveau degré d'automatisme a été fondée sur le maintien en équilibre de tendances à des équilibres contradictoires, sur l'arbitrage d'homéostasies différentes et même contradictoires. Ashby a voulu ainsi démontrer la possibilité d'un acte toujours poursuivi par sa machine à travers tous les dérèglements occasionnels et même contre les circonstances. Toutes les modifications même d'un seul élément de sa machine oblige chacun des autres à réagir, d'où une cascade d'actions, de réactions, d'interactions dont le déroulement donnerait le vertige à un logicien qui s'obstinerait à suivre la chaîne des événements: l'ensemble du mécanisme automatique de cet appareil comporte des centaines de milliers de déterminismes de rechange, exactement 390 625 arrangements d'équilibration possibles qui sont explorés à la vitesse des courants électroniques l'un après l'autre sans aucune méthode, strictement au hasard comme dans un être vivant. L'homéostat trouve toujours sa stabilité et son équilibre après quelques minutes, quelques heures, voire quelques jours. C'est ce que Ashby a voulu réaliser: un modèle artificiel de l'adaptation animale à l'environ-

nement, une machine électronique sans programme qui cherche elle-même son cheminement. Et si l'on transposait cet automatisme chez un animal, on accéderait à l'étage de l'instinct et du comportement adaptatif dans la recherche d'un but finalisé au travers d'une variété infinie de circonstances. L'homéostat révèle ainsi un rudiment de la faculté d'apprendre.

Abordant le problème de l'imitation de la vie, Ashby est parvenu à construire son homéostat doué, d'une part, du comportement d'adaptation par essais et erreurs et, d'autre part, d'aptitudes à composer avec un milieu extérieur changeant en modifiant sa propre structure interne: quand un déterminisme ne lui permet pas d'obtenir l'effet de sa finalité, celui-ci réorganise le mécanisme et cherche de nouvelles conditions d'équilibre. Par ses travaux, Ashby a jeté les bases d'une mécanique générale pour l'évolution des réseaux à connexions variables aussi bien matérielles (téléphonie) que psychiques (cellules nerveuses). D'ailleurs, Ashby ne s'est pas arrêté là: il a depuis poursuivi ses travaux qui l'ont conduit à écrire un livre intitulé « Projet de cerveau » («Design for a brain»).

C'est ensuite au même schéma que celui des tortues électroniques qu'appartient Miso, petit animal électronique construit en 1952 par le savant français Albert Ducrocq, directeur de la Société française de l'électronique et de cybernétique: au lieu d'être sensible à la lumière, Miso est affecté par la capacité électrique des objets qu'il approche. Devant un obstacle, Miso tourne soit à droite soit à gauche. La première fois, il ne choisit que par contingence, par exemple à droite. Mais l'effort que représente ce virage à droite s'inscrit comme un mauvais souvenir et, devant l'obstacle suivant, Miso tourne à gauche. A l'avenir, Miso aura tendance à choisir le côté qui, d'une manière générale, lui a été le plus favorable, c'est-à-dire celui où la somme des angles de rotation sera minimum. Il y a, sous forme de disque enregistreur, un embryon de mémoire à laquelle Ducrocq a voulu superposer une habitude, c'est-à-dire une mémoire des actes et non la mémoire des résultats. Miso est à proprement parler une machine qui s'instruit elle-même. Tandis que les tortues électroniques, les ancêtres, ne savaient réagir qu'à la seule lumière, un de leurs descendants, les renards, a appris à répondre au sifflet de son maître, comme les chiens de Pavlov qui salivaient dès qu'ils entendaient la cloche du repas.

En 1953, Ducrocq devait construire deux petits renards électroniques, mécanismes dotés de cinq sens et fuyant l'obstacle ou la main qu'ils rencontrent. Les renards électroniques de Ducrocq possèdent des mémoires. Ils sont capables de réflexes conditionnés: par exemple, il suffit de faire entendre un coup de sifflet chaque fois que les renards voient de la lumière pour qu'ensuite, sur seule audition du coup de sifflet, ils aient les mêmes réactions que celles que leur suggère de la lumière.

On sait que la station verticale et la marche de l'homme sont l'aboutissement, après des centaines de millions d'années, d'une longue évolution de l'action des muscles et des tendons des jambes. Or, la Foire de Paris de mai 1956 avait présenté le dernier-né des jouets électroniques: Thierry, un enfant de 1 m 15 de hauteur, qui marchait en se portant alternativement d'une jambe sur l'autre. Comme les tortues, la souris et les renards électroniques, le dandinant Thierry repartait dans une nouvelle direction après avoir heurté un obstacle.

Le Belge Jean Bourguignon aussi a mis au point une petite voiture électronique qui avance et recule, qui se dirige à gauche ou à droite, au gré de la volonté de son constructeur, au moyen d'un jet de lumière provenant d'une lampe de poche: selon que le rayon lumineux est dirigé sur l'un des phares, sur les pare-chocs avant ou arrière du véhicule, ce dernier exécute la manœuvre désirée.

Nous avons vu que l'homéostat n'a qu'un seul point d'équilibre et qu'il veut, par exemple, qu'un pilote automatique maintienne le cap au sud-sud-est. Mais si un multistat, comportant un organe d'instinct (une série de programmes), un organe de mémoire (enregistrement des échecs et des réussites passés) et un organe de calcul (prévisions) impose à l'homéostat des changements de référence, celui-ci pourra tenir n'importe quel cap. Tenir un seul cap, c'est corriger les variations contingentes pour maintenir un but ou un équilibre donné: c'est le rôle de l'automaticité. Modifier un cap, voilà le rôle de la volonté cybernétique. Pour cela, une machine électronique atteignant une très grande variété de comportements doit pouvoir maintenir plusieurs finalités ou points d'équilibre dont chacun correspond à un changement de référence de ses rétroactions elles-mêmes et non plus seulement au changement d'un facteur ou de plusieurs facteurs donnés. Ce niveau a été atteint en 1958 dans la réalisation d'un système multistatique par le médecin français Jacques Sauvan, à Antibes, véritable « *machina liberata* » qui stimule la création de l'instinct. Sauvan a construit en effet un appareil qui possède un comportement apparemment programmé d'une façon complexe. Ce multistat ne comporte même ni programme incorporé ni mémoire. Il modifie de lui-même son fonctionnement. Celui-ci est en liaison avec les lois qui régissent l'environnement. Il ne s'agit donc ni de mémoire ni de technologie puisqu'un appareil vraiment programmé ou bien respecte son programme si l'environnement le lui permet, ou bien ne fait rien. Ici, quelles que soient les lois de l'environnement, un fonctionnement s'établit, chaque fois différent mais respectant des références.

La machine que Sauvan a construite est un système multistatique sans mémoire, mais doté de coefficients de choix de satisfaction. En présence des informations auxquelles ses récepteurs sont sen-

sibles, cette machine présente, selon son auteur, le comportement suivant:

- une même information engendre les comportements les plus divers;
- des informations différentes peuvent donner lieu à des comportements identiques;
- une même information peut être suivie soit de fuite soit de lutte: une telle suite d'actions constitue une stratégie, ce qui est le caractère général de comportement des êtres vivants (ruse, combat, concurrence, poker, échecs, etc.).

Mais que va faire un système qui ne dispose pas des informations nécessaires à sa conduite (absence de programme) dans une situation inattendue? Ne disposant ni des connaissances ni du programme nécessaires, il devra cependant opérer des choix et agir. Dans le cas le plus simple, celui de l'homéostat d'Ashby, le système est fixé dans sa finalité et il recherche par lui-même les moyens de l'atteindre: l'homéostat est donc un modèle de liberté des « moyens ». En revanche, le multistat passe de la liberté des moyens à celle du « but »: un mécanisme libre est un mécanisme qui se substitue à la logique ou au programme lorsque ceux-ci sont défectueux et ne peuvent assurer la conduite supérieure de la machine en question.

Dès 1959, l'Armée américaine a aussi mis au point un tableau de distribution « Digicon » muni d'un système de commutation qui évite automatiquement des lignes de communications endommagées et qui réoriente les messages sur le plus rapide des circuits disponibles. En plus de son utilisation pour faciliter les communications téléphoniques, l'appareil américain est également prévu pour manipuler les renseignements en provenance des calculatrices électroniques, des radars, des téléscrip-teurs, des liseurs de bandes magnétiques et des systèmes télémétriques.

La 15^e Exposition des inventions des constructeurs amateurs de l'URSS, en février 1964 à Moscou, a présenté un chat cybernétique reproduisant avec une fidélité étonnante le comportement d'un chat vivant. Il contourne les obstacles, réagit au bruit, cherche sa nourriture et, l'ayant trouvée, il ronronne comme un chat vivant. Si l'on approche de lui rapidement la main, le chat miaule féroce-ment. Il est également capable d'acquiescer des réflexes conditionnés. Ce chat cybernétique a été construit par des étudiants membres du cercle des sans-filistes amateurs de l'Institut pédagogique de Stavropol. Ils ont également présenté à l'exposition de Moscou d'autres automates intéressants qui seront utilisés dans les écoles pour les cours de biologie et de physique.

D'autres animaux électroniques naissent et naîtront. Mais ils n'ont qu'un but scientifique. Leurs actes pourront être harmonisés

par des régulations similaires à celles qui régissent la motricité animale. Ils seront aussi pris entre diverses sollicitations simultanées pouvant s'accorder ou se contredire. Il apparaît donc bien que le passage d'un comportement purement machinal à un comportement déjà quasi animal n'est qu'une question de gradation.

Les automates classiques n'accomplissaient que des actes inéluctables, sans rétro-action, donc au niveau de l'automatisation. En opposition à ces automates classiques, les animaux électroniques ou cybernétiques accomplissent des actes et ont des réflexes conditionnés fondés sur les possibilités offertes par la rétro-action, ils modifient eux-mêmes leur programme et leur structure interne. Ils relèvent du niveau de l'automatisme.

La prévention des accidents, vue par un médecin

De l'intéressant organe pour la formation et le perfectionnement professionnels *L'Equipe technique*, édité par la FOMH, nous reproduisons cette étude non conformiste d'un médecin sur le problème toujours actuel de la prévention des accidents dans l'entreprise. C'est un complément à l'étude du professeur Högger que nous avons publiée dans le numéro d'avril de la *Revue syndicale* sous le titre « L'hygiène du travail et la prévention des accidents ».

Réd.

La prévention des accidents constitue un des problèmes essentiels de l'entreprise. Elle est l'affaire non seulement des spécialistes responsables de la sécurité, mais également du médecin, en l'occurrence du médecin d'entreprise¹, qui est à même de créer les conditions favorables à l'application des mesures prophylactiques. Il convient d'attacher la plus grande importance à la collaboration entre le médecin d'entreprise et les personnes préposées à la sécurité. Personne d'entre nous ne conteste à vrai dire la nécessité de la protection ouvrière (il existe déjà de nombreuses prescriptions légales en la matière). C'est précisément là que le bon exemple est déterminant; si les cadres font preuve d'un manque d'intérêt et de passivité dans ce domaine, on ne saurait trop exiger du personnel.

¹ Malheureusement, dans notre pays, un nombre infime seulement d'entreprises ont un médecin à leur service ou ont recours aux services d'un médecin de travail.