

Nous ne pousserons pas plus avant dans le domaine des arts, afin de ne pas alourdir l'exposé. Le domaine des arts plastiques n'a pas encore été vraiment attaqué par les spécialistes des machines à calculer. Nous signalons seulement la notion d' « expert automatique » développée par J.-C. Gardin et nous-même en 1959 à l'occasion d'un problème de documentation archéologique.

* * *

Nous venons, dans ce chapitre, d'évoquer un nombre considérable d'activités qui se développent dans le cadre général de l'utilisation des machines à calculer. On se rend compte que ce sont là des activités d'intérêt souvent très immédiat et pour le progrès desquelles des sommes importantes sont investies. Or il est clair que ces activités sont étroitement liées à celles que nous avons rangées parmi les rubriques de l'intelligence artificielle. C'est dire qu'il existe là un ressort puissant pour la continuité d'un effort dans le domaine qui nous intéresse.

Certes des recherches intéressantes doivent pouvoir se poursuivre en l'absence de toute motivation pratique immédiate, mais lorsque de telles motivations existent, le chercheur peut envisager l'avenir avec plus d'optimisme notamment quand, comme c'est le cas ici, il a besoin d'utiliser des instruments qui coûtent très cher.

CHAPITRE VIII

Les idées et les hommes

Nous avons décrit l'extraordinaire prolifération des machines à calculer, et nous y avons trouvé la cause principale de cette pression nouvelle exercée dans les domaines les plus divers de l'activité intellectuelle.

Ce développement est, on s'en doute, le fait d'un nombre considérable de chercheurs. Même dans le cadre plus limité qui est celui de l'intelligence artificielle, les spécialistes se comptent aujourd'hui par centaines (dont la plus grande partie réside aux États-Unis).

Cependant il est clair que les germes d'un tel développement existent depuis longtemps. Comme c'est le cas pour toute grande idée, il est même possible de trouver des précurseurs dans le passé le plus lointain. Et c'est pourquoi, avant de présenter une sorte de bilan des oeuvres significatives et des hommes qui en sont les auteurs (et que nous avons, assez arbitrairement, répartis en trois classes : les précurseurs, les pionniers, les chercheurs), nous avons estimé nécessaire de rappeler la contribution de quelques grands ancêtres qui, bien avant que la première machine à calculer électronique soit mise en service, en avaient clairement conçu les possibilités et même, dans certains cas, prévu les applications.

DE LULLE A LEIBNIZ

C'est au Moyen Age que l'on voit se manifester pour la première fois l'une des tendances qui deviendra, beaucoup plus tard, caractéristique de l'âge des calculatrices : l'esprit combinatoire.

Cet esprit est en puissance dans la logique d'Aristote, mais c'est l'aspect particulier que prend l'enseignement péripatéticien dans la scolastique qui réalise vraiment cette potentialité.

Raymond Lulle (1232-1315) a illustré cette émergence de l'esprit combinatoire avec une netteté toute particulière. Au fond ce que propose Lulle dans son *Ars Magna* est un ensemble d'algorithmes (au sens moderne) permettant de résoudre une classe très vaste de problèmes. Il s'agissait de construire des assemblages de « catégories », « propriétés », « vertus », etc. ; surtout il s'agissait de fournir une liste *exhaustive* des combinaisons possibles. Pour cela Lulle construisit des algorithmes de deux sortes, les uns purement graphiques, les autres contenant des éléments mécaniques (cercles concentriques pouvant effectuer des rotations l'un par rapport à l'autre).

Évidemment cette « mécanique » ne comporte aucune « intelligence » réelle. Bien plus, appliquée à des concepts mal définis, elle était utilisée à des démonstrations tantôt triviales, tantôt complètement illusoire.

Cependant, elle fut à l'origine du premier travail original de Leibniz et orienta profondément sa pensée.

Leibniz (1646-1716) est, par excellence, le grand ancêtre de l'intelligence artificielle. Tous les problèmes que nous avons évoqués au cours des chapitres précédents ont été abordés par lui et souvent avec une pénétration qui semble presque être prémonition !

Le cheminement même de sa pensée est instructif : elle commence par une réflexion sur le calcul des syllogismes avec un effort de formalisation des figures, modes, etc. Puis, l'étude de Lulle et de ses successeurs Kircher (1669), Dalgarno (1661), le conduit à l'art combinatoire, puis à la considération d'une langue universelle, enfin à la caractéristique universelle. Ce cheminement est celui d'une recherche de *symboles* et de *règles pour la manipulation des symboles* qui permettent d'exprimer les choses et les concepts de façon adéquate et de réduire les raisonnements auxquels ils donnent lieu à une manipulation purement mécanique des symboles.

Laissons la parole à Leibniz lui-même :

« C'est le but principal de cette grande science que j'ay accoutumé d'appeler *Caractéristique*, dont ce que nous appelons l'Algèbre n'est qu'une branche fort petite. Car c'est la Caractéristique qui donne les

paroles aux langues, les lettres aux paroles, les chiffres à l'Arithmétique, les notes à la Musique ; c'est elle qui nous apprend le secret de fixer le raisonnement, et de l'obliger à laisser comme des traces visibles sur le papier en petit volume, pour estre examiné à loisir c'est enfin elle qui nous fait raisonner à peu de frais, en mettant des caractères à la place des choses pour des-embarrasser l'imagination » (1).

Toute l'activité créatrice de Leibniz est contenue dans ce programme gigantesque, la *Monadologie* comme le calcul infinitésimal, mais aussi des projets plus spécifiques comme celui de machines à calculer. Après les machines arithmétiques et algébriques inventées dans sa jeunesse, il imagine une « grammaire cylindrique » qui fournirait tous les théorèmes appartenant à un système formel donné et envisage même l'application de ce mécanisme à la résolution de problèmes de droit !

Enfin Leibniz distingue clairement l'intérêt du problème des jeux comme exemple de problème combinatoire. Il est le premier à faire la distinction des jeux où le hasard intervient par opposition à ce que nous avons appelé les jeux « à information complète » (2).

On voit donc que l'ensemble de notre domaine est couvert, bien entendu de façon parfois superficielle. La combinatoire est commencée (notamment sous son aspect numérique : l'analyse combinatoire), mais la caractéristique demeure un projet. C'est un projet que notre siècle aborde seulement et que le suivant réalisera peut-être.

DE BABBAGE A JEVONS

Ch. Babbage (1792-1871) est bien connu comme l'inventeur de la première véritable machine à calculer complexe. Les machines inventées par Pascal, Leibniz et d'autres étaient les ancêtres de nos machines de bureaux, c'est-à-dire qu'elles étaient capables d'effectuer les opérations élémentaires de l'arithmétique.

Babbage au contraire mit au point (et réalisa en partie) une machine

(1) Cité par L. COUTURAT dans son ouvrage *La logique de Leibniz*, réédition G. OLMS, 1961.

(2) *Loc. cit.*, p.581

qui contenait les organes de mémoire et l'organisation logique des machines à calculer modernes. Mais, faute de disposer de techniques suffisamment souples (en fait seules les techniques électroniques devaient apporter plus tard cette souplesse), la réalisation pratique de la machine fut un échec.

Mais il est très intéressant de remarquer que les intérêts de Babbage le portaient bien au-delà du seul calcul automatique. Il avait en effet consacré beaucoup de temps et d'efforts à la mise au point de concepts qui deviendront ceux de la recherche opérationnelle. Bien plus, il avait étudié soigneusement la formalisation et la simulation par un automate de certains jeux, notamment du Tic-Tac-Dou auquel nous avons fait allusion dans le chapitre III. Pour toutes ces raisons, Babbage est incontestablement un ancêtre de l'intelligence artificielle.

S. Jevons (1835-1882) est encore un personnage captivant, aux intérêts variés et aux activités multiformes. Chimiste, économiste et logicien, il voit clairement, lui aussi, l'importance du choix d'une symbolique adéquate et la possibilité d'utiliser un mécanisme pour la manipulation automatique des symboles. Jevons, dans son article intitulé « Réalisation mécanique de l'inférence logique » (1), se réfère explicitement à Lulle et à Babbage. Les dispositifs mécaniques qu'il imagine sont directement liés à la nature particulière des problèmes qu'il veut traiter (calcul des propositions et calcul des prédicats du 1^{er} ordre). Il se propose d'ailleurs essentiellement d'illustrer, grâce à cette machine, les possibilités du calcul inférentiel développé quelques années auparavant par G. Boole. Mais il est bien conscient de la généralité des méthodes utilisées et de l'étendue de leurs applications.

LES PRÉCURSEURS

Nous citerons ici les auteurs contemporains qui, à un titre ou à un autre, ont contribué au développement de l'intelligence artificielle avant même que les premières expériences sur calculatrices électroniques aient eu lieu.

(1) Publié en 1870 par les *Philosophical Transactions*, t. 160, pp. 497-518.

Parmi ceux qui ont contribué au développement des notions mathématiques et logiques qui devaient être utilisées par la suite, nous citerons

G. Polya qui, par ses travaux d'analyse combinatoire (cités dans l'ouvrage de Beckenbach porté plus loin dans la « bibliothèque de base ») et ses recherches sur l'heuristique mathématique (1), apporte une double contribution à notre domaine.

C. Shannon a contribué de façon décisive au démarrage de la théorie de l'information (2). Il a joué aussi un rôle important dans la théorie des automates (3) et nous le retrouverons comme pionnier dans le domaine de la simulation des jeux.

A. Turing a introduit la notion de machine abstraite (4) puis a contribué notablement aux premières décisions sur l'intelligence artificielle (5). Il s'est aussi occupé de la simulation des jeux.

A la frontière de la logique et de la linguistique, citons les travaux de Y. Bar-Hilel et R. Carnap sur la notion d'information sémantique (6) ainsi que le rapprochement opéré entre syntaxe structurale et théorie des automates par N. Chomsky (7).

Enfin le problème général des automates a été initié par des recherches variées mais convergentes de R. Ashby (8), D. Mac Kay (9), W. McCulloch et W. Pitts (10), W. G. Walter (11) et, naturellement, N. Wiener (12).

A cela il convient encore d'ajouter les travaux multiples de J. von Neumann et notamment le livre cité dans la bibliographie finale.

- (1) G. POLYA, *Induction and Analogy in Mathematics*, Princeton U. P., 1954.
- (2) C. SHANNON-W. WEAVER, *The Mathematical Theory of Communications*, Un. of Ill. Press, 1949.
- (3) C. SHANNON et J. MCCARTHY, *Automata Studies*, Princeton U. P., 1956.
- (4) *Proc. of the London Math. Soc.*, 42, 230, 1937.
- (5) Cf. dans le livre de FEIGENBAUM et FELDMAN Cité plus loin, p.11.
- (6) Cf. *British J. of Philosophy of Science*, 4, 127, 1953.
- (7) Cf. *T. of Symbolic Logic*, 18, 247, 1953.
- (8) Cf. *Design for a Brain*, J. Wiley, 1952.
- (9) Cf. *British T. of Philosophy of Science*, 2, 105, 1951.
- (10) Cf. *Bull. of Mathematical Biophysics*, 7, 89, 1943.
- (11) *The Living Brain*, Norton, 1953.
- (12) Cf. *Cybernetics*, Hermann, 1946.

On remarquera que les travaux que nous venons de citer sont tous antérieurs à 1955. Les travaux des « pionniers » ne commencent guère avant 1957 et sont publiés pour la plupart entre 1957 et 1959.

LES PIONNIERS

Les premières machines à calculer électroniques furent construites à la fin des années 40 dans des organismes publics aux U.S.A. et en Angleterre. Ainsi furent-elles utilisées essentiellement comme calculatrices, pour résoudre des problèmes précis et urgents. Ce n'est qu'avec la commercialisation des calculatrices que l'on voit apparaître, dans les universités et même chez les constructeurs eux-mêmes (notamment à I.B.M.), des applications de caractère plus aventureux comme le sont celles liées aux problèmes de l'intelligence artificielle.

Dans le domaine des jeux, il faut citer les recherches de A. Bernstein, A. Turing, C. Shannon, S. Ulam, puis le grand travail de A. Newell, J. C. Shaw et H. Simon (1), enfin les recherches de J. McCarthy et, en U.R.S.S., celles de Shura-Bura.

Tous ces travaux portaient sur le jeu des échecs. Le jeu de dames fut étudié avec succès par A. Samuel (2).

Dans le domaine de la démonstration automatique des théorèmes, il faut citer E. Beth, M. Davis, H. Gelernter, P. Gilmore, et de nouveau Newell, Shaw et Simon. L'auteur le plus important est H. Wang (3).

Dans le domaine linguistique, les pionniers se nomment L. Dostert, S. Ceccato, A. Oettinger, V. Yngve, O. Kulagina, M. Masterman, I. Melchuk, D. Hays, en ce qui concerne la traduction automatique, P. Luhn, C. Mooers, M. Maron, A. Parker-Rhodes, M. Taube et J. C. Gardin en ce qui concerne la documentation automatique. Pour des applications variées il faudra citer les noms de A. Andrew, H. Borko, E. Feigenbaum, J. Feldman, R. Friedberg, B. Green, M. Kochen, G. Pask, N. Rochester, R. Solomonoff, F. Tonge, etc.

(1) Cf. I.B.M. *Journal of Research and Development*, 2, 320, 1958.

(2) Cf. I.B.M. *Journal of Research and Development*, 3, 210, 1959.

(3) Cf. I.B.M. *Journal of Research and Development*, 4, 2, 1960.

Les hérauts de l'intelligence artificielle à cette époque déjà reculée (c'est-à-dire comprise entre 1955 et 1960 !) sont M. Minsky (1) et O. Selfridge aux États-Unis, D. Lyapunov en U.R.S.S. (2) et F. Le Lionnais en France (3).

LES CHERCHEURS

Ils sont légion aujourd'hui et il n'est pas question ici de les dénombrer. Il nous a paru cependant utile de donner une sélection de quelques noms à titre de guide pour le lecteur désireux de suivre de plus près des orientations particulières de la recherche.

Dans la période la plus récente, la simulation des jeux n'a pas été poussée très loin, en raison des grandes difficultés rencontrées pour les échecs. Seuls M. Euwe et ses collaborateurs ont déployé une activité qui, quoique fort intéressante, n'a pas pu être menée à son terme (4). Par contre, d'autres jeux ont été abordés : le Go par A. Remus, le Go-Bang par P. Braffort, A. Lussan et H. Van Hedel.

Le domaine le plus populaire a été celui de la linguistique avec P. Garvin, H. Hiz, D. Lehman, S. Pendergraft, Y. Lecerf, L. Hirschberg, S. Greibach, G. King, S. Kuno pour la traduction automatique; L. Doyle, A. Leroy, R. Simmons, V. Giuliano, R. Needham, P. Edmundson et G. Salton pour la documentation automatique.

C'est le domaine de la démonstration automatique des théorèmes qui a été le plus actif et dans lequel les progrès ont été les plus significatifs. Outre les « pionniers » cités plus haut et qui, pour la plupart, ont continué à contribuer aux recherches, de nouveaux talents sont intervenus, parmi lesquels nous citerons D. Prawitz, J. Slagle, A. Robinson, J. Robinson, L. Wos, G. Collins, B. Dunham, J. Friedman, S. Kanger, D. Lehmer, S. van Westrhenen.

(1) Sa bibliographie sur l'intelligence artificielle reste un instrument de travail indispensable. Elle a été réimprimée dans le livre édité par FEIGENBAUM et FELDMAN, cité dans la « bibliothèque de base » en fin de chapitre.

(2) Grâce à la publication de la revue *Problèmi kybernetiki*.

(3) Voir le chapitre consacré à la cybernétique dans *L'Histoire générale des Sciences*, Presses Universitaires de France.

(4) Plus récemment, J. McCarthy et ses collaborateurs ont repris et amélioré leur programme et sont entrés en compétition avec leurs collègues soviétiques.

Pour des applications diverses, indiquons, les noms de S. Amarel, F. Black, D. Bobrow, R. Kirsch, P. Armer, R. Lindsay, etc. Bien entendu ce petit *Who's who* de l'intelligence artificielle n'est ni complet ni définitif. Chaque année de nouveaux chercheurs entrent en lice tandis que certains de leurs aînés passent à d'autres domaines d'activité. On peut dire qu'après une phase de développement un peu chaotique à la fin des années 50 et au début des années 60, développement lié à une publicité tapageuse et mal informée (demain on traduira gratis !), un certain reclassement s'est opéré : tassement du nombre des publications mais amélioration sérieuse de leur qualité. Après la ruée vers l'or et les déceptions qui suivirent, l'heure est maintenant au travail de laboratoire.

UNE BIBLIOTHÈQUE DE BASE

Le lecteur désireux d'approfondir les questions traitées dans cet ouvrage devrait posséder des connaissances, au moins élémentaires, dans le domaine des machines électroniques. Celui qui ne les possède pas pourrait utilement s'initier à l'aide des livres suivants :

- P. DEMARNE et M. ROUQUEROL, *Les ordinateurs électroniques*, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n° 832.
 B. RENARD, *Le calcul électronique*, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n° 882.
 J. et J. POYEN, *Le langage électronique*, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n° 900.

On trouvera un exposé plus approfondi, plus audacieux aussi dans ses perspectives, dans :

F.-H. RAYMOND, *L'automatique des informations*, Masson, 1957.

L'aspect historique est plus particulièrement développé dans les ouvrages suivants :

- M. GARDNER, *L'étonnante histoire des machines logiques*, Dunod, 1965.
 E. C. BERKELEY, *Cerveaux géants, machines qui pensent*, Dunod, 1963.
 F. GILLOT, *Algèbre et logique* d'après les textes originaux de G. BOOLE et W. S. JEVONS, Blanchard, 1962.
 J. BERNSTEIN, *The Analytical Engine*, Sicker & Warburg, 1964.

Les problèmes mathématiques liés aux questions que nous avons soulevées sont traités dans des ouvrages assez spécialisés, cependant on en trouve l'essentiel sous une forme remarquablement accessible dans :

B. A. TRAHTENBROT, *Algorithmes et machines à calculer*, Dunod, 1963.

Pour les lecteurs munis d'un bagage mathématique déjà important, on doit signaler l'ensemble des articles rassemblés dans :

D. BECKENBACH (ed.), *Combinatorial Mathematics*, J. Wiley, 1964.

Le premier livre directement lié au sujet principal qui nous préoccupe est :

P. de LATIL, *Introduction à la cybernétique : La pensée artificielle*, Albin Michel, 1953, mais l'accent reste mis sur le côté « cybernétique » des problèmes.

L'auteur analyse les différents aspects de la « rétroaction », etc.

C'est seulement après 1960 que, sous l'impact des publications de la presse spécialisée et notamment après le congrès de l'I.F.I.P. tenu à Paris en 1959, les ouvrages se multiplient : ouvrages originaux ou collection de réimpression des textes fondamentaux.

En voici la liste :

- H. BORKO (ed.), *Computer Applications in the Behavioral Science*, Prentice Hall, 1962.
 M. GREENBERGER (ed.), *Management of the Computer of the Future*, N.I.T. Press, 1962.
 M. TAUBE, *Computer and Common Sense*, McGraw-Hill, 1963.
 P. BRAFFORT et D. HIRSCHBERG, *Computer Programming and Formal Systems*, North Holland, 1963.
 S. GARVIN, *Natural Language and the Computer*, McGraw-Hill, 1963.
 E. A. FEIGENBAUM et J. FELDMAN, *Computers and Thought*, McGraw-Hill, 1963. (Ce livre est probablement le plus important ; il contient des articles fondamentaux relatifs aux questions traitées dans les chapitres III, IV et VIII.)
 M. S. PEDELTY, *An Approach to Machine Intelligence*, Spartan Books, 1963.

SAYNE et CROSSON, *The Modeling of Mind*, Notre-Dame Univ. Press, 1963.

Tou et WILCOX, *Computer and Information Sciences*, Spartan Books, 1964.

M. A. SASS et W. D. WILKINSON, *Computer Augmentation of Human Reasoning*, Spartan Books, 1965.

D. FINIC, *Computers and the Human Mind*, Doubleday, 1966.

Fox, *Advances in Programming and Non-Numerical Computation*, Pergamon, 1966.

P. GARVIN, *Computation in linguistics*, Illinois U. P., 1966.

M. VALACH, *Cybernetic modelling*, Iliffe, 1967.

Booth, *Machine translation*, North Holland, 1967.

Et, bien entendu, les numéros spéciaux consacrés aux calculatrices : Le numéro de *Scientific American* de novembre 1966, avec l'article de M. MINSKY sur l'intelligence artificielle, et le numéro de janvier 1967 des *Proceedings of the LE.E.E.*, avec l'article de SOLOMONOFF sur le même sujet.

Il faut encore ajouter à cette liste un ouvrage exceptionnel par sa largeur de vue et la profondeur de ses implications :

J. von NEUMANN, *The Computer and the Brain*, Yale Univ. Press, 1958;

ainsi qu'un recueil de discussions souvent philosophiques mais toujours fort intéressantes :

S. HOOK (ed.), *Dimensions of Mind*, N. Y. Univ. Press, 1960.

Épilogue

Il faut maintenant conclure. Nous avons, dans le chapitre II, introduit un langage et exprimé dans ce langage, au cours des chapitres suivants, le problème de l'intelligence artificielle. Puis, dans le chapitre VI, nous avons mis l'accent sur leur caractère commun : la recherche de procédures anticombinatoires pour réduire la complexité, à divers niveaux.

Enfin, dans les deux derniers chapitres, nous avons décrit l'environnement de l'intelligence artificielle. Nous croyons avoir montré ainsi que le développement des applications récentes des calculatrices amènerait au niveau de la nécessité la résolution de problèmes que les recherches du type « démonstration automatique des théorèmes » n'auraient pas pu faire sortir du niveau de la recherche gratuite. Nous avons indiqué aussi qu'à l'audacieuse brigade des pionniers un fort contingent de jeunes chercheurs s'était joint récemment et se mettait au travail avec une ardeur accrue.

Nous pouvons en conclure, tenant compte aussi des développements technologiques auxquels il faut s'attendre, que *l'ère de l'intelligence artificielle est commencée*.

Y a-t-il lieu d'en tirer des conséquences d'ordre moral ou métaphysique ? Nous ne le pensons pas.

Nous avons soigneusement évité, d'un bout à l'autre de cet ouvrage, d'établir un quelconque parallélisme entre le fonctionnement des automates et celui des cerveaux (humains ou non). Visiblement les techniques utilisées sont différentes et si les « programmes » - qui demeurent inconnus dans le cas du cerveau - devenaient identifiables, il n'y aurait rien de plus à en conclure que de la similitude de structure du bras humain avec un levier.