

CHAPITRE PREMIER

Intelligence et artifices

Lorsqu'on met en regard les pouvoirs de l'intelligence et ceux de constructions humaines comme les automates, qui n'en sont qu'un reflet bien partiel, on s'attire inévitablement des objections passionnées de même qu'on suscite quelques enthousiasmes naïfs. Le mot même d'automatisme est souvent utilisé comme le *contraire* de l'acte intelligent. Ceci est vrai jusqu'aux niveaux les plus élevés de la vie mentale de l'individu où il est commode d'opposer par exemple l'activité créatrice du mathématicien au comportement réflexe du calculateur prodige.

Il est donc indispensable, au début de cet ouvrage, de rappeler, en quelques paragraphes, ce que sont les conditions réelles de la naissance et du développement de l'intelligence afin d'en esquisser les structures essentielles - dans la mesure encore limitée où il est possible de les apprécier aujourd'hui.

Ceci fait, on examinera succinctement, mais également d'un point de vue « du comportement », la naissance et le développement des « artifices » divers qui peu à peu enrichissent notre arsenal automatique. On verra alors apparaître un domaine commun dont l'examen plus approfondi fera l'objet du chapitre II.

LES OPERATIONS DE L'INTELLIGENCE

L'intelligence, telle qu'elle se manifeste chez les animaux supérieurs et notamment chez l'homme, ne se laisse pas commodément cerner. On admettra cependant qu'une de ses caractéristiques essentielles est

cet aspect de circularité qu'elle présente, au bout d'une longue évolution ; circularité qui se manifeste dans le fait qu'elle seule, parmi les acquisitions successives des espèces, jouit de la propriété d'être « réflexive », c'est-à-dire de pouvoir s'appliquer à soi-même.

On peut en effet « penser à sa propre pensée » alors qu'on ne peut pas « voir l'acte de voir », qu'on ne peut pas « lancer un jet », etc.

Mais avant que de posséder cette vertu réflexive, l'intelligence est une acquisition à un double titre ; celui de l'espèce et celui de l'individu. Il est donc naturel, pour en éclairer quelques aspects essentiels, de faire appel au point de vue « génétique » qui s'efforce d'en saisir et d'en articuler les premiers balbutiements.

C'est ainsi qu'on trouve, sous la plume de Jean Piaget (I), la définition suivante

L'intelligence est une adaptation. Pour saisir ses rapports avec la vie en général il s'agit donc de préciser quelles relations existent entre l'organisme et le milieu ambiant. En effet, la vie est une création continue de formes de plus en plus complexes et une mise en équilibre progressive entre les formes et le milieu. Dire que l'intelligence est un cas particulier de l'adaptation biologique, c'est donc supposer que telle est essentiellement une organisation et que sa fonction est de structurer l'univers comme l'organisme structure le milieu immédiat.

Le mot *organisation* est celui sur lequel nous voudrions attirer particulièrement l'attention. Car il implique deux acceptions également possibles, et que d'ailleurs nous utiliserons toutes deux : organisation en tant que *système* d'opérations, organisation en tant que *résultat* de ce système d'opérations.

Car si l'intelligence caractérise certaines de nos activités supérieures, celles-ci peuvent présenter aussi bien un aspect *passif*, correspondant à une assimilation de messages venus de l'extérieur, qu'un aspect *actif*, en tant qu'interventions de l'individu dans le milieu qui est le sien. Le rôle de l'intelligence, c'est, en gros, d'assurer le succès de ces interventions, succès qui se situe à des niveaux de satisfaction très variés, mais qui, en fin de compte, mesurent l'adaptation de l'individu à son milieu.

(I) J. PIAGET, La naissance de l'intelligence chez l'enfant, Delachaux & Niestlé, 1959, p. 10.

Lorsqu'elle atteint son développement normal chez l'adulte contemporain, l'intelligence peut en effet être caractérisée comme une aptitude à manipuler les *concepts* en vue d'actions efficaces dans le cadre d'une finalité prédéterminée.

Mais ce niveau n'est évidemment que l'aboutissement d'un long parcours dans l'évolution de l'espèce humaine, et, au moins par certains côtés, de l'évolution tout court.

Car l'homme (comme déjà l'animal), aux prises avec le monde extérieur, ne peut pas *s'approprier* les objets dont ce monde est fait. Il ne peut les connaître et les reconnaître qu'au travers d'une *représentation* dont la forme la plus simple est la sensation. Les sensations, trop nombreuses pour être exploitables directement (cet obstacle des grands nombres sera l'objet principal des discussions de notre chapitre VI), sont elles-mêmes classées en groupes et en familles de groupes, etc.

Ces regroupements s'opèrent probablement à l'aide de critères d'invariance par rapport à des opérations élémentaires (déplacement de l'observateur, action d'agents physiques, etc.), ou à des schémas opératoires que nous ne nous proposons évidemment pas de préciser davantage ici.

Même sous cette forme très simplifiée, il saute aux yeux que l'intelligence est un phénomène excessivement complexe. Car tant que le monde extérieur ne nous apparaît que comme une suite aléatoire de sensations, il n'y a aucun espoir de construire un comportement adapté. L'intelligence doit donc disposer

- d'un ensemble de classifications qui permettent d'établir des ressemblances et de vérifier des cohérences ;
- d'une possibilité de stocker la masse d'informations ainsi codifiée de façon élémentaire.

Cette double nécessité se situe elle-même :

- au niveau des rapports entre l'individu et le monde extérieur ;
- au niveau des rapports que les individus entretiennent entre eux.

Tout ceci engendre une hiérarchie de technique d'abstraction et de mémorisation, hiérarchie qui comprend notamment le langage - écrit et parlé -, l'activité rationnelle - y compris l'activité scientifique

et technique - et ceci jusqu'à des niveaux aussi raffinés que ceux de la mathématique et de la logique formelle.

Pour tenter d'apporter quelque lumière dans cet enchevêtrement constructif, replaçons-nous dans l'optique « génétique » qui est celle de Jean Piaget. Cet auteur distingue six *stades* dans l'apparition de l'intelligence

- l'exercice des réflexes ;
- les premières adaptations acquises (réaction circulaire primaire) ;
- les réactions circulaires secondaires et les procédés destinés à faire durer les spectacles intéressants ;
- la coordination des schémas secondaires ;
- la réaction circulaire tertiaire et la découverte des moyens nouveaux par expérimentation active ;
- l'invention des moyens nouveaux par combinaison mentale.

Comme l'indique d'ailleurs Jean Piaget (I) :

Du simple réflexe à l'intelligence la plus systématique, un même fonctionnement nous paraît se prolonger au travers de tous les stades, établissant ainsi une continuité entière entre des structures de plus en plus complexes. Mais cette continuité fonctionnelle n'exclut en rien une transformation des structures allant elle-même de pair avec un véritable renversement des perspectives dans la conscience du sujet. Au début de l'évolution intellectuelle, en effet, l'acte est déclenché tout d'une pièce et par un stimulus extérieur, l'initiative de l'individu consistant simplement à pouvoir reproduire son action en présence d'excitants analogues au stimulus normal, ou par simple répétition à vide. Au terme de l'évolution, au contraire, toute action implique une organisation mobile à dissociations et regroupements indéfinis, le sujet pouvant ainsi s'assigner à lui-même des buts toujours plus indépendants de la suggestion du milieu immédiat.

Ce qui nous semble essentiel dans tout ceci, en vue des comparaisons que nous nous proposons d'effectuer dans la suite, c'est l'existence d'un système de communication entre l'être intelligent et le monde extérieur, communications rendues possibles par un jeu complet de *substitutions*

- substitutions de sensations aux objets extérieurs ;
- substitution d'excitations cérébrales aux messages sensoriels ;

(I) Loc. cit., p. 137.

- substitution de « souvenirs » à des classes d'expériences ;
- substitution de systèmes à des séquences de souvenirs isolés ;
- substitution de concepts à des classes de systèmes ;
- etc.

Il est également remarquable que les reconstitutions du processus d'acquisition de l'intelligence du type de celui que nous venons d'évoquer s'appuient sur des descriptions « de l'extérieur » et ne font intervenir en rien d'essentiel le *support physiologique* de l'activité intellectuelle.

Présentée ainsi en termes de comportement, l'intelligence semble si bien indépendante du support matériel qui lui permet de s'exercer qu'on en vient naturellement à imaginer qu'un changement de support serait aisément réalisable, allant par exemple du physiologique au mécanique, afin d'effectuer une *simulation plus* ou moins complète que nous allons justement chercher à décrire. Mais puisque jusqu'à présent cette recherche n'a pas rencontré que des succès, il n'est pas mauvais de dresser, face au tableau des exigences de l'intellectuel, un bilan de l'évolution des artifices, des machines, des robots que l'homme, peu à peu, invente, pour leur confier un nombre toujours plus grand de tâches.

MACHINES ET AUTOMATES

Tout comme l'intelligence qui, dans l'évolution des espèces ou dans la vie de l'individu, n'apparaît pas soudain *ex nihilo*, mais prend forme au long d'une série d'étapes, les machines sont, elles aussi, le produit d'une évolution qui se fait bien entendu selon une autre échelle de temps et dans un contexte bien spécifique.

Les *outils* les plus primitifs sont, on le sait, des substitutions ou des amplifications d'organes humains - en particulier des mains, en vue d'une action plus efficace sur le monde extérieur. L'amplification en question est de nature qualitative (par exemple dans le sens du tranchant ou du pointu) mais la force et le travail sont fournis entièrement par l'individu (I).

(I) Voir par exemple A. Laaot-Goulus x, *L'homme et la matière*, Albin Michel.

Les *machines* apparaissent dès qu'il est possible de stocker le travail humain, ou même de lui substituer d'autres efforts (animaux ou sources naturelles inanimées).

Dans toute cette phase du développement, la part « intelligente » de ces transformations de la nature reste sous le contrôle actif de l'individu qui décide de l'enchaînement des actions physiques qu'il confie aux mécanismes.

Lorsque les décisions peuvent être codifiées, stockées et enchaînées tout comme les actions mécaniques, on entre dans le règne de l'automatisme.

Tout à la fin apparaît - et cette histoire devient la nôtre - l'automatisme appliqué non plus à des actions mécaniques comme le contrôle des machines-outils, des trains et des voies, des circuits industriels, etc., mais aux informations elles-mêmes, sous leur forme la plus abstraite, même mathématique.

Car les automates ont été longtemps des mécanismes au comportement entièrement déterminé par une tâche particulière et permettant ainsi d'économiser une ou plusieurs actions humaines. Toute l'« intelligence » impliquée dans la tâche automatisée était incarnée dans la structure même du mécanisme.

C'est ainsi que le distributeur « automatique » ne répond qu'à une séquence bien déterminée d'instructions

- a) introduire dans la fente une pièce de monnaie (de valeur fixée) ;
- b) tirer sur une poignée,

et en réponse à cette excitation standard, il fournit une réponse unique.

Mais, peu à peu, on s'est *efforcé* de construire des automates qui acceptent des conditions variables et y répondent en fonction d'un certain nombre de consignes. Il fallait donc exprimer ces consignes et les informations relatives aux conditions variables dans un même langage. Par exemple une machine à laver automatique possède des consignes telles que : « rincer », « essorer », etc., des conditions variables : « température de l'eau », « temps écoulé », etc., qui, pour l'automate, deviennent des positions de relais et de cames, permettant de *programmer* le fonctionnement sous forme d'une articulation convenablement choisie des consignes et des conditions.

Cette évolution s'est poursuivie - au moins pour les automates complexes (distilleries, laminoirs, etc.) - jusqu'au point où les actions physiques ont été confiées à des mécanismes passifs ordinaires, mais commandés par des signaux provenant d'un automate central, machine à calculer électronique à peine spécialisée, qui traite les informations provenant d'organes de mesure et prend les décisions actions après divers calculs ou contrôles logiques. Cette organisation n'est possible que grâce à l'existence de « transducteurs » qui traduisent les données les plus variées (pressions, températures, nombres d'impulsions, etc.) dans un langage standard qui est celui de la calculatrice. Ici encore on a un système de substitution dont on verra plus loin qu'il donne naissance lui aussi à une hiérarchie qui peut atteindre une certaine complexité.

Pour se faire une idée du chemin parcouru, on peut citer l'exemple de l'ensemble d'automates, portant le nom *d'Instrument Unit*, qui a été commandé par la N.A.S.A., l'organisation spatiale américaine, à I.B.M., le plus important constructeur mondial de machines à calculer. Cet ensemble est destiné à constituer le centre vital de la fusée *Saturne*, qui devra propulser vers la lune les satellites du projet *Apollo*. Soixante sous-systèmes électroniques le constituent afin de guider et de contrôler à tous moments la fusée.

L'I.U. traite des millions d'informations par minute.

Avant le lancement, l'I. U. effectue les contrôles de routine de la fusée et se contrôle lui-même.

Pendant le lancement, *l'I.U.* assure le déclenchement et l'enregistrement d'innombrables mesures (notamment vitesse, accélération, etc.) et en assure la transmission aux stations à terre. Après la mise en orbite, cette même unité commande le départ vers la lune puis la séparation du « module » d'exploration lunaire.

Cet énorme automate est mis au point dans un centre spécial où travaillent 800 personnes. On voit sans peine le chemin parcouru depuis le distributeur automatique de paquets de cigarettes (I) !...

(I) On trouvera des indications générales intéressantes sur l'automatisme dans le livre de P. de Latil, et sur un plan plus technique dans le livre de F. H. Raymond, tous deux cités dans la bibliographie.



Cette brève histoire des machines offre à la fois similitudes et contrastes avec celle de l'intelligence. Mais le premier aspect que nous désirons souligner ici, c'est l'absence de tout anthropomorphisme dès l'invention des mécanismes et des automatisations. On utilise des matériaux dont les qualités de robustesse et de longévité sont bien supérieures à celles des matériaux dont nous sommes faits. On invente des systèmes - comme la roue - dont nous sommes dépourvus. Finalement on fabrique des organes - comme la mémoire - dont l'équivalent humain nous est encore inexplicable.

Cette constatation devrait à la fois expliquer les difficultés de l'intelligence artificielle et son caractère strictement technique.

Et c'est dans le souci d'éviter toute polémique renouvelée de la scholastique (comme celle qui fleurit en ce moment dans les pays anglo-saxons sous le nom de *mind-body problem* (1)) que nous avons aussi déterminé le cours de notre exposé.

Beaucoup de bons esprits se préoccupent en effet de savoir jusqu'à quel point une machine peut « réellement penser », comment s'effectue l'« émergence » d'un psychisme à partir du support matériel qui le conditionne, etc.

Par ailleurs, d'autres chercheurs s'efforcent, en construisant des modèles de neurones ou d'assemblées de neurones, d'acquiescer des lumières sur ce que pouvait être le fonctionnement du cerveau, son activité d'apprentissage et de création.

En ce qui nous concerne, nous nous bornerons à constater le divorce qui - au moins pour le moment - existe entre le support matériel de l'intelligence humaine et celui de l'intelligence artificielle, et nous nous abstenons de tirer des résultats que nous citerons toute conclusion d'ordre psychophysiologique ou métaphysique. D'ailleurs nous bannirons délibérément des expressions équivoques, telles que « cerveaux électroniques », « machines à penser », etc.

C'est aussi pour ces diverses raisons que nous avons été conduits à éliminer de notre enquête les études d'automatisme plus ou moins

anthropomorphistes, robots, tortues et renards qui - au détriment d'ailleurs des performances intelligentes - singent le mécanisme extérieur des êtres animés.

LES MACHINES A CALCULER

Plus précisément nous nous limiterons aux recherches qui se fondent sur *l'utilisation de machines à calculer universelles* pour la simulation des tâches intellectuelles.

Il est clair que l'expression « machine à calculer », même si elle est plus prosaïque que celle de « cerveau électronique », éveille encore dans le public un sentiment d'admiration craintive. Il est temps de s'en défaire et pour cela il faut se rendre compte qu'aujourd'hui les machines à calculer sont présentes partout (ceci est vrai dans notre pays, mais naturellement encore plus vrai aux États-Unis).

Pour fixer les idées citons quelques chiffres empruntés à un exposé de S. Fernbach (1) au récent congrès de l'I.F.I.P. (Fédération Internationale pour le Traitement de l'Information).

Selon cet auteur, la distribution actuelle des machines à calculer aux États-Unis est donnée figure 1.

Dans une estimation plus récente publiée par *Scientific American* (2), J. McCarthy précise que si le nombre de calculateurs utilisés aux États-Unis en 1950 était de l'ordre de 15 il est aujourd'hui voisin de 32 000 et doit passer à 85 000 en 1975. On prévoit qu'à cette époque les investissements en machines à calculer atteindront 30 milliards de dollars, c'est-à-dire *150 milliards de nos francs actuels* !



Les machines à calculer ne peuvent donc plus raisonnablement être considérées comme des bêtes curieuses. En particulier leur architecture ne devrait présenter, même pour le profane, aucun mystère. Nous n'avons pas l'intention de reprendre dans ce livre une description

(1) Cf. l'ouvrage collectif édité par S. Hook (cité en bibliographie).

(1) Cf. S. FERNBACH, *Computers in the U.S.A. : to-day and to-morrow*, Proc. of I.F.I.P. Congres, 65, vol. I, p. 77.

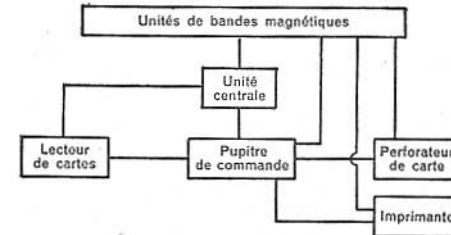
(2) Cf. numéro spécial cité en bibliographie.

Classe	Principaux constructeurs	Nombre de types dans cette classe	Machines installées	Machines en commande	Investissement actuel (en millions de dollars)	Investissement prévu (en millions de dollars)
1	Néant.	0	0	0	0	0
2	Control Data 6 600-6 800. I.B.M. 360/92. Etc.	2	2	10	14	82
3	I.B.M. 7 090-9 411, 360/50-70. Control Data 3 400-3 800. Univac 1 107-8. Honeywell 1 800. Philco 2 000. Etc.	33	497	861	1 337,4	2 210,9
4	I.B.M. 704-709, 7 040-44, 360/30-40. Univac III. Honeywell 800, 1 400. C.D.C.-1 604, 924. A.S.I. 2 100, 420, 210. Etc.	30	776	2 779	1 889,1	1 407,7
5	I.B.M. 701-705, 7 070, 1 401, 1 460. Univac 1 004, 1 100 Séries. N.C.R. 315. G.E. 210-225, 415-435. S.D.S. 910-910. Etc.	30	11 742	4 132	3 152,4	1 304,5
6	I.B.M. 650, 1 410, 1 440, 1 620. R.C.A.-301, 501. Univac 80/90, 1 050, I-II. Burroughs-205-280. Honeywell Data 1 000, H-400. Etc.	23	5 144	2 131	1 432,4	440,0
7	N.C.R.-390. Monroe Monrobot XI. C.D.C.G.-15. General Precision L.G.P.-21-30. I.B.M. 305. Etc.	21	3 481	1 520	285,9	57,7

FIG. I. - Distribution des machines à calculer aux États-Unis en 1965



a) La calculatrice « de bureau »



b) Implantation d'une calculatrice électronique

FIG. 2. - Les deux étapes du calcul automatique

détaillée des calculatrices électroniques. Le lecteur qui serait curieux de tels détails pourrait se reporter avec fruit à la bibliographie.

Mais pour la compréhension de la suite, il suffira de garder présente à l'esprit l'analogie que développe la figure 2 :

L'opératrice mécanographe qui utilise une machine à calculer de bureau correspond au pupitre de commande et aux organes de lectures de la calculatrice électronique : elle lit les factures, etc., et en extrait les informations numériques qu'elle doit additionner. Dans le cas de la calculatrice électronique, ces informations initiales sont

stockées sous forme de cartes perforées, de bandes perforées ou d'enregistrements magnétiques et sont lues par des organes spéciaux. Il en va de même des informations finales, c'est-à-dire des résultats.

La machine à calculer de bureau elle-même correspond à l'unité centrale de la calculatrice électronique : c'est là que s'effectuent les opérations arithmétiques proprement dites. Dans le cas de la calculatrice électronique, on peut effectuer un très grand nombre d'opérations et pas seulement les quatre opérations arithmétiques (nous en verrons quelques exemples au chapitre suivant).

Enfin, et c'est le point capital, la calculatrice électronique dispose d'une *mémoire*, c'est-à-dire qu'elle peut stocker des informations intermédiaires, ce qui correspond, dans le cas du calcul de bureau à un stockage de feuilles ou de bandes de papier en vue de leur réutilisation ultérieure.

Du fait que la calculatrice électronique effectue près d'un million d'opérations par seconde, la vitesse de calcul est donc plus d'un million de fois supérieure à celle d'un calculateur humain, même aidé par une machine de bureau. En outre, le fait qu'elle transporte les informations, au même rythme d'un support matériel à un autre, empêche l'utilisateur de suivre et de contrôler lui-même le déroulement des opérations. Il lui faut donc rédiger à l'avance la suite des *instructions* qui devront être exécutées, et les transformer dans le langage qu'utilise la machine (par exemple des cartes perforées). Il faut enfin abandonner le contrôle du *programme* ainsi constitué à la machine elle-même.

L'originalité des machines à calculer réside donc dans le fait qu'elles permettent un automatisme appliqué non seulement aux *actions* élémentaires, mais aussi à leur *enchaînement*.

* * *

Si maintenant on compare les paragraphes que nous avons consacrés successivement au développement de l'intelligence et à celui des automatismes, notamment des machines à calculer, on voit apparaître quelques similitudes. Elles sont toutes fondées sur l'existence de techniques de *représentation* : objets extérieurs transformés en « informations » qui seront traitées par des organes adéquats. Cela n'implique,

nous le répétons, aucune identité avec les mécanismes du cerveau. Par contre, cela confirme clairement que les spécifications techniques propres au domaine de l'intelligence artificielle n'introduisent pas de restrictions de *principe*. Dans les chapitres suivants, nous montrerons sur des exemples que les problèmes appartenant aux régions les plus variées de l'intelligence sont *effectivement* pris en compte.

Cela implique surtout la possibilité d'exprimer les problèmes des deux domaines à l'aide d'un même *langage* et c'est ce que nous allons chercher à déterminer au cours du chapitre suivant.