

CHAPITRE VII

La tête au-delà des murs

Partis de la constatation empirique qu'une communauté de problèmes et de méthodes s'est constituée et est couramment reconnue sous le nom d' « intelligence artificielle », nous avons entrepris, au cours de cet ouvrage, de donner à cette communauté un fondement explicite, et d'en tirer les conséquences.

Pour cela, au cours du chapitre II, nous avons présenté les éléments d'une formalisation - langage des monoïdes et représentation à l'aide de graphes - à l'aide de laquelle les divers problèmes que nous avons rencontrés s'expriment très naturellement.

Puis, au cours des chapitres III, IV, et V, nous avons exploré les principales rubriques de l'intelligence artificielle en développant quelques exemples et en donnant une idée des résultats obtenus. A cette occasion on a pu constater la similitude des techniques utilisées pour la recherche des solutions, la construction des programmes, etc.

Enfin, dans le chapitre précédent, nous avons complété cet effort de synthèse en explicitant une notion - celle de complexité - qui est le dénominateur commun à toutes les branches et sous-branches de la communauté des problèmes que nous avons parcourue et qui, en même temps, fournit la base d'une estimation qualitative et parfois même quantitative des performances que l'on doit attendre des automates pour que les problèmes soient non plus seulement *posés*, mais aussi *résolus*.

En s'appuyant d'une part sur ces estimations, et d'autre part sur les résultats expérimentaux obtenus ici et là, et auxquels nous avons fait allusion chemin faisant, il est possible d'établir un bilan et de dresser des perspectives. Et c'est ce que nous allons tenter de faire au cours du présent chapitre.

On peut le dire en quelques mots : le bilan actuel des réalisations *pratiques* de l'intelligence artificielle est modeste.

Certes, dans chacun des domaines que nous avons abordés de telles réalisations existent. Dans plusieurs institutions il existe des programmes avec qui on peut jouer aux échecs (le plus connu est celui du Massachusetts Institute of Technology) (1) ; nous avons nous-même écrit un programme qui joue au Go-Bang. Il existe une demi-douzaine de programmes de démonstration automatique des théorèmes (il faut citer notamment ceux développés à Argonne par J. Robinson, et à M.I.T.R.E. par J. Friedmann). Plusieurs programmes de traduction automatique du russe vers l'anglais sont en exploitation (en particulier au Centre de Recherches d'Euratom à Ispra on utilise une version retouchée et complétée du célèbre programme mis au point à l'Université Georgetown de Washington, par une équipe - aujourd'hui dispersée - dirigée par G. Dostert).

Mais il est clair que l'utilisation des calculatrices électroniques pour des tâches de cet ordre - en comparaison avec leur utilisation pour des tâches de calcul numérique - reste négligeable.

De même les équipes engagées dans des recherches de ce type sont encore peu nombreuses. Les crédits accordés sont souvent importants mais la politique des bailleurs de fonds (en particulier des diverses administrations civiles et militaires aux États-Unis) demeure hésitante, ce qui compromet le recrutement et la formation des chercheurs.

Et pourtant nous avons intitulé ce chapitre «la tête au-delà des murs» pour indiquer avec suffisamment de force les perspectives qui - croyons-nous - sont dès à présent discernables.

Nous allons tout d'abord analyser les conditions générales qui règnent aujourd'hui sur le marché des machines à calculer électroniques,

(1) Repris et développé à l'Université de Stanford.

conditions qui - indépendamment des fluctuations de la mode - exercent une pression constante en faveur de développements nouveaux et de progrès de toutes sortes. Ces conditions sont celles d'un engouement généralisé pour l'automatisation et les seules contraintes qui le limitent sont celles relatives à la formation du personnel spécialisé.

Puis nous examinerons quelques domaines d'activité qui ne relèvent pas directement de l'intelligence artificielle, mais qui, dans la mesure où des améliorations de plus en plus importantes sont considérées comme souhaitables, posent des problèmes qui rejoignent peu à peu notre domaine. Il s'agit des problèmes de la gestion automatisée, du contrôle industriel et de ce qu'on appelle le *software*, nom sophistiqué pour « l'art de la programmation ».

Nous aborderons alors un domaine qui se trouve à cheval sur les domaines de l'exploitation et de la recherche. Il s'agit du domaine de la linguistique appliquée dont une partie dépend de développements du type de ceux que nous avons présentés au cours du chapitre V, mais dont une autre se situe à un niveau plus élémentaire. L'interdépendance de ces deux types de problèmes est évidemment un intéressant facteur de progrès.

Enfin nous examinerons brièvement le domaine de ce qu'on pourrait appeler paradoxalement « l'art artificiel », domaine qui n'est pour le moment qu'une curiosité, mais qui pourrait bien donner naissance à d'importants développements.

LA RUÉE VERS LES MACHINES

La discussion que nous avons conduite au chapitre précédent nous a permis de conclure qu'aucune raison de principe, et en particulier aucun théorème de logique mathématique, ne s'opposait au développement continu de l'intelligence artificielle. Certes, les progrès technologiques ne peuvent améliorer indéfiniment les performances des machines. La nanoseconde (10^{-9} seconde) semble être un temps minimum pour une opération élémentaire qu'il sera impossible de dépasser et peut-être même d'atteindre (les performances actuelles atteignent 100 nanosecondes, c'est-à-dire 10^{-7} seconde). Par ailleurs

il n'est pas raisonnable de compter sur un fonctionnement continu d'une calculatrice sur un même problème pendant des périodes d'un ordre de grandeur supérieur à la journée.

Cela veut dire qu'on ne peut guère espérer résoudre - même dans un avenir éloigné - des problèmes qui nécessiteraient l'exécution d'un nombre d'opérations élémentaires dépassant 10^{-14} et il est évident qu'on peut imaginer de tels problèmes (par exemple calculer les 10^{15} premiers nombres entiers et les imprimer en représentation décimale). Mais des problèmes de ce genre sont des problèmes combinatoires. Nous pensons avoir montré que ces problèmes ne relèvent de l'intelligence artificielle que dans la mesure où il est possible d'y définir des procédures anticombinatoires. De telles procédures réclament bien souvent l'utilisation d'un stock d'information important et complexe (par exemple un réseau sémantique sera nécessaire pour la constitution d'un programme de traduction automatique rigoureux et efficace).

Cela veut dire que le travail important et difficile n'est pas celui de la calculatrice, mais celui des experts chargés de découvrir les procédures et de rassembler les matériaux constituant le stock d'informations, de l'organiser pour son exploitation optimale, etc. De tels travaux réclament de la patience, de l'ingéniosité et, par-dessus tout, une très grande quantité de travail. Il n'y a pas de voie royale pour l'intelligence artificielle.

Ce que nous venons de dire implique qu'un progrès vraiment spectaculaire ne sera accompli que lorsque des moyens suffisants, en particulier des équipes fortes et animées d'un esprit de collaboration (esprit qui, jusqu'à présent a bien souvent manqué, notamment dans le domaine de la traduction automatique) seront rassemblés.

Or, nous sommes convaincus que, après une période de difficultés diverses, ces moyens seront effectivement rassemblés et les résultats spectaculaires qu'on doit en attendre, atteints. Pourquoi cette conviction ?

C'est qu'il existe aujourd'hui, *en deça* du domaine de l'intelligence artificielle, un domaine d'utilisation des calculatrices électroniques en pleine expansion, domaine dont le développement exigera le recours aux procédés et aux résultats de l'intelligence artificielle. Il en résulte

tera tôt ou tard une pression de la demande qui, plus que les initiatives individuelles, permettra d'obtenir les investissements nécessaires au progrès.

L'un des caractères notables de notre époque, c'est en effet l'existence d'une véritable *explosion informationnelle*. Il est significatif, à cet égard, qu'au moment du récent congrès de l'I.F.I.P. (Fédération internationale pour le traitement de l'information), tenu à New York en mai 1965, le *New York Times* ait publié un supplément intitulé *The Information Revolution*. Nous sommes à l'ère des institutions, des traités, des règlements, des systèmes comptables, du contrôle formalisé. Nous sommes aussi à l'ère des mesures numériques, de l'estimation statistique, de la prévision et de la planification. Nous sommes enfin à l'ère du contrôle automatique.

A ces multiples activités correspondent des circuits informationnels multiples : érection et codification d'informations (fichiers individuels, enregistrements de résultats de mesure, etc.), circulation d'information (sous forme manuscrite, imprimée, téléphonique, carte perforée, bande magnétique, etc.). Les calculatrices électroniques ne sont pas seulement - nous l'avons vu - des machines à calculer. Elles sont aussi des machines à traiter l'information. Aussi était-il naturel de les utiliser pour l'automatisation des travaux de codification et de circulation que nous venons d'évoquer. Il est alors apparu rapidement que la clientèle de ces machines serait principalement une clientèle intéressée par des applications de cette sorte.

Nous allons illustrer tout cela en examinant un peu plus en détail ce domaine que l'on pourrait qualifier de « préliminaire à l'intelligence artificielle ».

LA GESTION AUTOMATISÉE

La première conquête des machines est celle de la gestion administrative et commerciale. Il s'agit de l'enregistrement, de la manipulation et de l'évaluation d'objets de divers types

- des biens (magasin, inventaire, achats, etc.) ;
- des personnes (établissement des bulletins de paie, dossiers médicaux, etc.) ;

- des actes comportant l'intervention simultanée de biens et de personnes (gestion des contrats, des programmes).

A ce niveau élémentaire (tout au moins du point de vue de la structure) il s'agit d'assurer des codifications efficaces tant pour l'enregistrement des données que pour la formulation des problèmes posés par les administrateurs, comptables, agents de contrats, etc. L'aspect combinatoire découle simplement de la masse considérable de données à manipuler. En un mot, les fichiers sont très épais, les programmes de traitement relativement minces.

A un niveau supérieur, les mêmes données sont utilisées pour la constitution de dossiers statistiques. Ces statistiques doivent alimenter à la fois l'analyse de l'évolution déjà accomplie (recherche de tendances, analyse de régression, analyse factorielle, etc.) et la prévision.

C'est dans cet esprit et avec ces techniques que se développent les systèmes permettant, sinon la gestion automatique des grands projets, tout au moins le dialogue du chef de projet avec la calculatrice. Les techniques connues sous le nom de « recherche de chemin critique », « programme Pert », etc., appartiennent à cette catégorie.

Ici encore les données à traiter sont très nombreuses, mais en plus la manipulation de ces données fait intervenir des procédures (notamment mathématiques et plus précisément statistiques) beaucoup plus évoluées que celles du niveau précédent.

Enfin, au niveau le plus élevé - dans ce domaine des applications économiques et de gestion - se situe la simulation : simulation d'entreprise ou d'administration, simulation de réseau d'entreprises, simulation d'économie régionale, nationale ou même multinationale. A ce niveau, on voit s'ajouter à la masse des données et à la précision mathématique des techniques d'estimation, l'agencement logique et chronologique des actions et échanges dont la mise en œuvre articulée est caractéristique de l'ensemble que l'on simule.

Au niveau de la gestion du personnel et du budget les difficultés du travail de l'automate sont essentiellement liées à la nécessité d'une

multitude de vérifications et en particulier vérification des données. Les calculs sont en effet trop élémentaires pour qu'une erreur ait une chance sérieuse d'y apparaître. Cependant ce travail de vérification est suffisamment fastidieux pour qu'on tente de le rendre moins pénible par l'utilisation de langages de programmation spécialisés. Il en va de même pour les problèmes du type « recherche opérationnelle ».

Dès qu'on aborde la simulation des grands ensembles industriels, les jeux stratégiques, etc., le problème de la vérification des données cesse d'être le plus important. Car les *actions* à simuler sont soumises au contrôle d'une certaine logique, logique dont les diverses articulations doivent être reproduites fidèlement par l'automate.

Par exemple la simulation d'un supermarché exige la décomposition de son activité en actions élémentaires : arrivée du client, achats, passage à la caisse, départ, etc. La logique exige que le client ne passe à la caisse qu'après ses achats et non avant, qu'il parte après son passage à la caisse et non avant. D'autre part, il existe moins de caisses que de clients, d'où l'existence de queues, d'où la nécessité d'attribuer un certain temps aux opérations élémentaires, etc.

On voit qu'ici la difficulté dans le travail de l'automate prend un aspect beaucoup plus logique que dans les exemples précédents.

L'aspect « intelligence artificielle », c'est donc ici la constitution de systèmes de programmation spécialisés dont la structure exprime un peu des propriétés générales des systèmes à simuler. On citera, à titre d'exemple, le G.P.S.S. (General Problem Storing System) mis au point à I.B.M. par Gordon. Dans un tel système, il sera aisé de simuler le fonctionnement d'un supermarché tel que celui décrit par le diagramme ci-contre (fig. 36).

On dispose, en effet, dans le G.P.S.S., de sous-programmes standards qui simulent l'arrivée au hasard d'individus, la réalisation (qui dure un certain temps) de transactions élémentaires, le déplacement d'individus ou de marchandises, etc., le tout lié par un système de contraintes qui est caractéristique de l'établissement dans lequel ces transactions ou ces déplacements ont lieu.

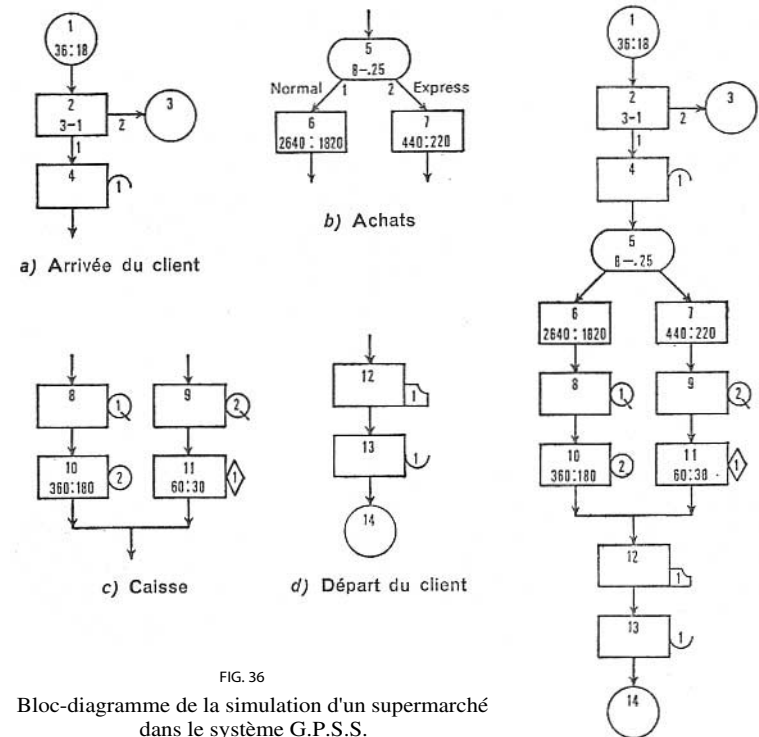


FIG. 36

Bloc-diagramme de la simulation d'un supermarché dans le système G.P.S.S.

LE CONTROLE INDUSTRIEL

La seconde conquête des calculatrices est celle du domaine industriel et technologique. Cette conquête est plus récente et, notamment en Europe, n'est pas achevée. Elle intéresse, elle aussi, plusieurs niveaux que nous aborderons également dans l'ordre de la complexité croissante.

Au premier niveau, on voit apparaître, dans les boucles de contrôle automatique des ensembles industriels, des appareils qui transforment

les informations, effectuent des calculs élémentaires, des comparaisons, etc., et émettent des signaux destinés à la commande d'organes divers disposés sur la bande. Ce sont des calculatrices spécialisées et de taille souvent modeste.

Au fond le régulateur de Watt en est l'ancêtre : on sait que c'est le régulateur de vitesse des machines à vapeur qui tourne à la vitesse du moteur et où la force centrifuge permet l'ouverture d'une vanne qui contrôle le débit de la vapeur. Ici pas de calcul explicite, mais le régulateur assure la résolution d'une équation implicite.

Au deuxième niveau, la calculatrice de contrôle prend une envergure nouvelle, elle dirige les divers organes non plus en fonction de consignes locales qui ont un caractère « réflexe », mais en fonction d'une consigne *d'optimisation* dont la mise en oeuvre nécessite à la fois l'accumulation d'un grand nombre d'informations, mais aussi la résolution de problèmes analytiques, numériques et logiques fort avancés.

Les calculatrices qui correspondent à ce niveau sont spécialisées en ce sens qu'elles disposent en général d'organes d'entrée et de sortie particuliers (par exemple des transducteurs permettant la transformation de signaux analogiques en signaux digitaux et réciproquement). Elles sont également étudiées pour fonctionner en « temps réel ». D'autre part elles sont universelles en ce sens qu'une même calculatrice de contrôle peut être utilisée dans le voisinage d'un réacteur nucléaire, d'une installation de cracking, d'un laminoir, etc.

Lorsqu'on aborde le troisième niveau (ce qui n'a lieu qu'en quelques points d'avant-garde de l'industrie américaine), on voit le domaine de la recherche et du développement s'ajouter à celui de la production. C'est ainsi que les calculatrices modernes sont étudiées, simulées puis dessinées à l'aide de calculatrices.

Des organes périphériques spécialisés se chargent même d'effectuer les dessins cotés, de les photographier et d'en tirer les « bleus » qui sont livrés aux ateliers ou, mieux, les bandes perforées qui commanderont les machines-outils.

Ici encore, on arrive bien près du domaine de l'intelligence artificielle. En effet, la machine doit traiter des informations à la fois nombreuses et très structurées. D'ailleurs, on voit surgir, ici également, des langages de programmation spécialisés. Nous citerons un exemple le Lotis (un langage formel pour décrire la LOgique, le « Timing »

et le « Sequencing » des machines). Ce langage, mis au point par H. P. Schlaeffi, permet à la fois de décrire formellement un automate (mémoire, structure des registres, organisation spatio-temporelle, etc.) et d'en simuler le comportement sur une autre machine.

A titre d'illustration, nous présentons ci-dessous la description formelle d'une calculatrice dont la mémoire posséderait 10^{14} mots de 32 bits chacun, avec un cycle et un temps d'accès de 12 et 5 « unités de temps », etc.

```

cpu abc /
m(14b, 32); mx(7, 14); ar(14); sr(14);
ir(32) = [iop(8), tag(1), x(3), nil(6),
iad(14)];
ic(14); ac(32); md(32); ov(1); ready(1);
+ (4); v(1); ≠ (1);

seq instrfetch, ctr /
1, ready : ar := ic; ic := ic + 1 /
2, core : call read /
3, ready : ir := sr /
4 : ar := iad + (if vx then mx(x)
else 0);
if not tag then goto 7 /
5, core : call read /
6, ready : ir[8, 31] := sr[8, 31]; goto 4 /
7 : if iop[0] then (if arit then call
arit := iop[1, 7] else
hold)
else goto iop[1, 7] / fin

fct read, core /
1, 5 : ready := 0; sr := m(ar) /
2, 7 : ready := 1 / fin

fct store, core /
1, 5 : ready := 0 /
2, 7 : ready := 1; m(ar) := sr / fin

seq add, arit /
1, core : call read /
2, ready : md := sr /
3, 8 : ov := (ac[0] ≠ md[0]); ac :=
ac + md /
4 : if not ov then ov := (ac[0] ≠
md[0]) else ov := 0;
call instrfetch, 1 / fin

```

Nous ne donnerons pas ici la signification des différents symboles utilisés car il s'agit plutôt de donner une idée de ce que sont les recherches de ce type.

LE NOUVEAU « SOFTWARE »

La troisième conquête des machines commence à peine et, en particulier, elle n'a guère pénétré notre continent, mais on peut prévoir un déferlement considérable dans les années qui viennent. Il s'agit

de la conquête des professions libérales ou intellectuelles. Nous précisons à l'aide d'exemples ce que nous entendons par là et, une fois de plus, en distinguant des niveaux de difficulté croissante. Nous nous précisons au départ qu'il ne s'agit pas ici de *remplacer* le travailleur intellectuel, mais de l'aider. Nous sommes toujours dans la *banlieue* de l'intelligence artificielle.

Au niveau le plus élémentaire (qui est, bien entendu, le plus développé), il faut bien citer la programmation automatique. Nous avons indiqué à plusieurs reprises l'apparition de langages spécialisés pour différents domaines d'application des machines. Il est clair que cette aide au programmeur n'est obtenue que grâce à la mise en oeuvre de programmes spéciaux (les compilateurs) qui effectuent la traduction langage spécialisé-langage machine. Ces programmes de manipulation de symboles comportent souvent des dizaines de milliers d'instructions. Leur étude systématique, la recherche de programmes capables, si on leur donne la description formelle d'un langage et d'une machine, de produire le compilateur qui permettra à la machine d'interpréter le langage, tout cela est donc un *effort* du même ordre que ceux que l'on doit fournir dans les diverses disciplines qui relèvent de l'intelligence artificielle.

On donne à ce domaine et à l'objet de ses recherches le nom de *software*, néologisme anglais basé sur un jeu de mots. En effet, les machines à calculer elles-mêmes, c'est-à-dire l'outillage électronique et mécanique qui les compose, sont désignées en anglais par le mot *hardware* qui veut dire « quincaillerie ». Mais l'adjectif *hard* qui figure dans *hardware* est le symétrique de *soft* dans la mesure où des adjectifs signifient respectivement « dur » et « doux » (1). Le *software* c'est donc ce qui, dans le fonctionnement des calculatrices, est extérieur à l'appareillage lui-même : c'est l'ensemble des problèmes liés à la programmation.

Le premier effort dans la constitution du *software* a été la mise au point de langages de programmation plus voisins du langage des mathématiciens que ne l'était le langage des machines. Nous ne nous étendrons pas sur ce point qui a été abondamment traité par des

(1) Et pourquoi ne pas substituer au couple « hardware-software », un couple plus attrayant tel que « plumage-ramage » ?

auteurs excellents (1). Rappelons simplement que les premiers langages de programmation étaient destinés à faciliter l'écriture de programmes comportant un grand nombre de formules algébriques. Fortran, Mad, Algol sont de ce type. Puis on s'est intéressé à l'écriture de programmes comportant des instructions du type comptable, ce qui a donné naissance au Cobol.

Parallèlement on a créé des langages spécialisés relatifs à des classes plus restreintes de problèmes. Nous en avons indiqué ci-dessus quelques exemples : G. P. S. S., Lotis, etc.

Enfin on a développé des langages aptes au traitement des *listes*. En programmation une liste n'est pas une suite d'informations, mais une organisation comme celle de la figure 37.

Des langages spéciaux ont été créés qui permettent d'accomplir aisément des opérations telles que :

- introduire de nouvelles informations dans la liste ;
- effacer certaines informations dans la liste ;
- chercher dans la liste une information donnée, etc.

Ces langages sont le F.L.P.L., les I.P.L., le L.I.S.P., etc. I.B.M. a récemment développé un langage nommé P.L. 1 qui s'efforce de combiner les avantages du Fortran, de l'Algol et des langages de traitement de listes.

Pour chaque type de machine, l'utilisation d'un de ces langages nécessite l'utilisation d'un programme particulier, appelé *compilateur* qui traduit les expressions écrites dans le langage en instructions accep-

(1) Voir en particulier le livre de M. et Mme POYEN cité en bibliographie.

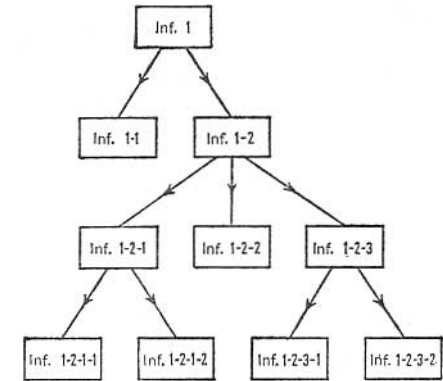


FIG. 37. — Organisation d'informations sous forme de « liste »

tées par la machine. La multiplication des langages et des machines rend ce travail gigantesque au point qu'il essouffle même les constructeurs les plus puissants. On en est donc arrivé au point où il serait souhaitable d'avoir des programmes qui construisent automatiquement les compilateurs quand on leur donne la structure de la machine et celle du langage.

De telles recherches sont en cours activement. Elles mettent en jeu un certain nombre de domaines (logique, mathématique, analyse combinatoire, etc.) qui, exploités avec l'esprit de recherche d'encombrement minimum qu'on imagine sans peine, rejoignent évidemment le domaine de l'intelligence artificielle.

LA LINGUISTIQUE APPLIQUÉE ET LES DOMAINES CONNEXES

Au niveau suivant, la manipulation de programmes est remplacée par la manipulation de textes.

Conformément aux remarques que nous avons présentées à la fin du chapitre V, on ne peut pas s'attendre, dans l'état actuel des choses, à ce que les textes soient exploités dans la totalité de leur contenu. On doit se borner à traiter certains aspects du langage (ceux qui sont le plus aisément formalisables) ou à traiter des *parties* du langage, ou enfin à utiliser les programmes comme auxiliaires du travailleur humain. Mais dans les trois cas il existe des applications suffisamment intéressantes et importantes pour que ce champ d'activités soit déjà en plein essor.

C'est ainsi que l'application la plus élémentaire des machines à la linguistique est celle qui consiste à construire les *concordances* d'un texte ou d'un auteur donné, c'est-à-dire d'établir une liste des mots utilisés dans ce texte ou par cet auteur avec les références des endroits où ils sont utilisés. Citons à ce propos les travaux de l'équipe dirigée par J. Quemada à Besançon.

Dans le même esprit, l'on voit se multiplier les aides de la machine au traducteur humain, systèmes de compromis qui permettent d'attendre le développement sur une échelle plus grande, de la traduction automatique.

Il s'agit ici de programmes qui établissent des nomenclatures multilingues, des statistiques à usage stylistique, etc. Nous y avons fait allusion au cours du chapitre V. Nous nous contenterons de citer le système Dicautom, mis au point par L. Hirschberg à l'Université de Bruxelles.

La *documentation automatique*. - Dans les systèmes qui sont actuellement en fonctionnement, les documentalistes doivent encore caractériser les documents par un certain nombre de *mots clés*, de *relations* entre ces mots clés, etc. Il en va de même pour les questions qui leur sont posées. Mais, une fois ce travail accompli, le reste, c'est-à-dire le stockage de l'information, puis la recherche des documents qui répondent à une question, est entièrement automatisé. Il s'agit donc d'une aide de la machine au documentaliste. Mais déjà, on met au point des programmes d'« analyse automatique » pour la recherche des mots clés et même des relations. Ici encore, des langages spécialisés apparaissent, pour la formalisation de l'analyse comme pour la programmation. Nous citerons le « Syntol » de J.-C. Gardin et le « Comit » de Yngve.

Il faut également citer ici l'important domaine de l'enseignement automatique. Il s'agit essentiellement de la manipulation de données en langage naturel, avec correction automatique, etc. Bien entendu, la machine n'a pas à rechercher la solution correcte, les différents types de fautes ont été prévus. Il n'en reste pas moins qu'on est encore dans une situation de manipulation de données complexes.

Le dernier domaine que nous citerons ici comprend deux rubriques qu'il est assez naturel de rapprocher : le diagnostic automatique et la jurisprudence automatique. Dans les deux cas, il s'agit d'une aide de la machine à une profession libérale (médecin ou avocat). Dans les deux cas, il s'agit de manipuler des masses considérables d'informations rédigées principalement en langage naturel, avec peut-être l'aide de classifications documentaires du type mots clés, relations, et ainsi de suite. Dans les deux cas, enfin, il n'y a pas - du moins à notre connaissance - de réalisation complète au stade du fonctionnement quotidien.

Le problème du diagnostic automatique est d'établir, grâce à la possibilité de manipuler un stock d'informations énorme, des corrélations bien fondées entre système de symptômes et maladies (et d'en

déduire éventuellement un système de prescriptions). Au fond, c'est une variante du problème de la documentation automatique.

Dans le cas de la jurisprudence, il s'ajoute souvent au problème documentaire un problème de résolution d'équations logiques, puisque la législation se présente souvent sous la forme de décisions conditionnelles.

Des publications spécialisées et des congrès ont déjà rassemblé des chercheurs du domaine que nous venons d'évoquer. Il est clair que l'évolution de ces professions vers une structure en « cabinets » comprenant de nombreux collaborateurs permettra les investissements nécessaires au progrès de l'automatisation.

LA LITTÉRATURE ARTIFICIELLE

Nous aborderons maintenant un quatrième et dernier domaine d'application des machines, domaine qui a souvent excité l'intérêt (mais aussi l'imagination) des journalistes : c'est celui de la création.

Il y a déjà fort longtemps que J. Swift, dans les célèbres *Voyages de Gulliver*, décrivait une machine à composer de la littérature. Plus récemment, on a présenté des poèmes composés par des calculatrices. Que faut-il en penser ?

Il nous semble que la conception d'une littérature automatique (au sens d'une création littéraire réalisée par des automates et non dictée par l'inconscient comme l'essayèrent les surréalistes) est un peu prématurée.

Ce qui est abordable immédiatement, c'est l'aide de la machine au littéraire. En effet, de même qu'il existe des dictionnaires de rimes, des dictionnaires analogiques, des dictionnaires de citations, etc., il est concevable de développer des programmes qui se substituent à l'écrivain pour imposer aux textes qu'il manipule des contraintes plus complexes que les contraintes phonétiques de la prosodie, telles que le sont les contraintes de style, de situation, etc. Ce genre de considérations est d'ailleurs au centre des préoccupations de groupements comme l'Oulipo (OUvroir de Littérature POtentielle) qui rassemblent écrivains et mathématiciens, groupements qui se situent par conséquent, eux aussi, aux frontières de l'intelligence artificielle.

En fait l'utilisation des machines en littérature peut se faire dans deux directions différentes.

D'une part on peut envisager une utilisation *analytique*. Cette utilisation est d'ailleurs amorcée dans les travaux de linguistique appliquée auxquels nous avons fait allusion au début du paragraphe précédent. On peut en effet étudier, non seulement la distribution des mots, le choix du vocabulaire, mais l'agencement des phrases, la fréquence des doubles, triples de mots revenant régulièrement, etc. Mieux, les programmes d'analyse syntaxique automatique peuvent mettre en évidence la préférence marquée d'un auteur pour tel type de construction, faire apparaître chez l'un des stemmas « en profondeur » et chez l'autre des stemmas « en largeur », bref on peut développer dans une certaine mesure une analyse stylistique automatique ou tout au moins semi-automatique.

L'utilisation des machines dans le domaine de la *synthèse*, c'est-à-dire de la création littéraire est évidemment plus délicate et peut donner lieu à de plaisantes anticipations (1). On peut par exemple utiliser des textes déjà existants et en créer de nouveaux à l'aide de substitutions systématiques (compte tenu de contraintes grammaticales et autres). Nous n'entrerons pas ici dans le détail de telles perspectives pour lesquelles on pourra se reporter avec fruit à ceux des travaux de l'Oulipo qui ont été déjà publiés (2).

LA MUSIQUE ARTIFICIELLE

Le domaine du langage est celui que nous avons abordé en dernier au cours de notre enquête sur les différents domaines de l'intelligence artificielle. Nous avons en effet constaté qu'il s'y combine la plupart des difficultés que l'on rencontre dans les autres domaines et ce n'est pas étonnant puisque c'est bien le langage qui sous-tend l'ensemble de nos activités et, finalement, de nos civilisations.

Ceci explique que, dans le domaine de la création et de sa simulation par les machines, l'aspect linguistique n'ait pas encore donné lieu à des développements bien importants.

(1) Comme dans l'excellent roman de R. ESCARPIT *Le littératron*.


(2) *Cahiers du Collège de Pataphysique*, dossier n° 17, 1961 ; voir aussi R. QUENEAU, *Bâtons, chiffres et lettres*, Gallimard, 1965, p. 317.

Par contre, la musique offre des possibilités beaucoup plus grandes pour l'utilisation des automates. On est en effet, en présence, ici, d'un système complètement formalisé et dont les aspects algébriques ont été mis en évidence depuis longtemps (par exemple dans le *Traité d'harmonie* de Paul Hindemith).

Dans le domaine de la musique, des efforts sérieux ont été accomplis dans l'esprit « automate » : la composition musicale peut en effet être considérée comme l'écriture de séquences de symboles compte tenu d'un certain nombre de contraintes (ton, mode, rythme, lois de l'harmonie, etc.).

Là, le nombre relativement restreint de conceptions à mettre en oeuvre permet de construire assez aisément des programmes pour automate. Par contre, les contraintes que l'on introduit alors semblent assez différentes de celles que l'on a vu apparaître au cours de l'évolution de la musique.

Après les travaux de Hiller et Isaacsan (1956) de nombreuses études ont été publiées (notamment en France par A. Moles, P. Barbaud et I. Xenakis). Il faut citer un travail remarquable du Soviétique R. Zaripov (1960). Il nous semble intéressant, sans reproduire l'organigramme d'ensemble, de donner la liste des sous-programmes qui le composent, avec une description grossière de leur contenu

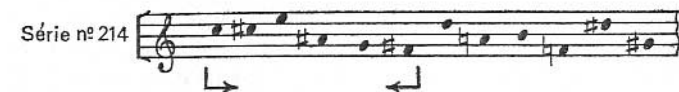
- A₀ Formulation du programme en tenant compte de la mesure 3/4 ou 4/4.
- A₁ Choix au hasard (ou commandé du pupitre) du caractère α du dessin rythmique qui dépend du nombre i (dans notre cas $i = 0, 1, 2, 3$).
- A₂ Choix d'une combinaison rythmique j où $j = 0, 1, 2, 3$ correspond aux combinaisons de valeur  admises dans le programme.
- A₃₁ Élimination des syncopes lorsque $j = 1$ et 3. Lorsqu'il y a une syncope, la transmission de l'ordre s'effectue en A₃₃. A la fin de la proposition le passage se fait sans condition en Q₄₆.
- A₄₄ Inscription d'une combinaison rythmique.
- A₄₅ Formation des chiffres pris au hasard.
- Q₄₅ Opérateur de transmission sans condition bII.
A la fin d'une proposition rythmique bII sur A_{5k} à la fin d'une proposition mélodique bII sur A₅. A l'intérieur d'une proposition bII sur A_{2ik} A_{6im}. Ici i_k et i_m prennent l'une des valeurs $i = 0, 1, 3, 3$ selon que $k = 0, 1, 2, 3$ et $m = 0, 1, 2, \dots, 7$.
- A_{50, 51, 52} Préparation du programme pour l'élaboration rythmique des propositions.

- A₅₃ Préparation pour appliquer la mélodie α 1 sur le rythme α .
- A₅₄ Choix au hasard (ou commandé du pupitre) du caractère α d'un dessin mélodique selon que $i = 0, 1, 2, 3$.
- A₆₁ Choix de l'intervalle pour la note suivante.
- A₇₀ A₇₁ Détermination du signe de l'intervalle. Obtention de la hauteur de la note suivante. Choix du nombre de notes consécutives allant dans la même direction (ascendante ou descendante).
- P₇₂ Limitation de la hauteur dans l'ambitus entre *fa* de l'octave basse et *do* de la 3e octave. Lorsque les conditions ne sont pas réalisées l'ordre est transmis pour obtenir un autre intervalle.
- P₇₃ Exclusion des grands intervalles consécutifs dans la même direction au moyen de la transmission d'un ordre pour obtenir des intervalles plus réduits.
- P₇₄ Vérification de la fin de la proposition. A l'intérieur de la proposition impression de la note (A₇₈).
- A₇₅ A la fin de la proposition envoi de bII en Q₄₆ auprès de A_{8m}.
- P₇₆ A₇₇ Essai de fin de période et attribution à la dernière note de la période du degré I, III, V. S'il ne s'agit pas de la fin de la période mais de la fin de la proposition on passe en A₇₈.
- A₇₈ Impression de la note (codifiée).
- A_{8m} ($m = 0, 1, \dots, 7$) La préparation du programme pour l'élaboration mélodique de la proposition qui suit α .-).
- Q₈₈ Arrêt (par un ordre donné du pupitre) ou retour automatique au début du programme (A₀) sans arrêt de la machine.

Ce qui nous semble très significatif, dans le domaine de la musique automatique, c'est l'effort entrepris par un compositeur comme A. Riotte, qui est aussi un spécialiste du calcul automatique, pour obtenir une aide de la machine au compositeur humain. Cette attitude nous semble beaucoup plus réaliste, tout au moins au stade actuel.

Riotte a utilisé la calculatrice pour engendrer des lignes mélodiques particulières qu'il a appelé « séries équilibrées ». Il s'agit de séries de douze sons dont les permutations possibles sont au nombre de $5 \cdot 10^8$, parmi lesquelles il y a seulement 519 séries équilibrées fermées.

A titre d'exemple, nous reproduisons l'une d'entre elles obtenue sur calculatrice I.B.M. 7090.



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.