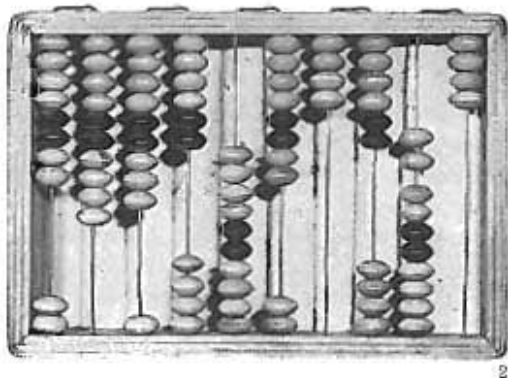


# INFORMATIQUE

## LES HOMMES QUI COMPTENT LA PRODIGIEUSE AVENTURE DE L'ORDINATEUR

Jean-Dominique Decotignie



1. Une page des Analytiques d'Aristote. Manuscrit du XII<sup>e</sup> siècle.  
2. Abaque (XIII<sup>e</sup> siècle). Bouliers et abaques symbolisent la première étape de l'automatisation des opérations arithmétiques.  
3. Bâtons de Neper. Détail d'une planche de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert. Deuxième moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle.  
4. La pascaline. En 1642, Pascal réalisa la première machine à calculer numérique. Elle permettait aussi bien d'effectuer des additions que des soustractions. A cet effet, l'opérateur devait régler chacun des huit cadrans de la machine en s'aidant d'un style métallique.

L'aube n'est pas encore levée sur Bletchey, petite cité anglaise à quelque 70 km de Londres. Dans un bâtiment de Bletchey Park, un grand parc planté de cèdres réquisitionné par le gouvernement britannique, la fièvre qui régnait dans les premières heures de ce matin du 1<sup>er</sup> juin 1944 est retombée. Bill Chandler reste seul face à la machine. Les autres membres de l'équipe de Tommy Flowers, chef du groupe commutation au centre de recherche des PTT de Dollis Hill, épuisés, sont allés prendre quelque repos bien mérité. Ils n'ont pas beaucoup chômé depuis ce jour de mars 1944 où ils ont appris qu'un certain nombre de machines devaient être opérationnelles avant le 1<sup>er</sup> juin. La première de ces machines a été assemblée, mais refuse obstinément de fonctionner.

L'aube pointe. Bill Chandler vérifie pour la énième fois le câblage de la machine quand, soudain, il remarque une erreur de montage. Plein d'espoir, il entreprend de la corriger. Lorsque à 8 h 30 les autres reviennent après ces quelques petites heures de sommeil, le premier exemplaire de la deuxième version du premier calculateur électronique mondial, le Colossus, fonctionne.

L'existence de cette série de calculateurs, issus du besoin de décrypter les communications de l'ennemi, restera secrète jusqu'en 1975. Ce silence fera attribuer, à tort, à l'ENIAC, qui commencera à fonctionner en novembre 1945, le titre de premier calculateur électronique.

Ces deux premières réalisations seront rapidement suivies de « vrais » ordinateurs; mais revenons sur la genèse de cette extraordinaire aventure dans laquelle les calculatrices mécaniques seront associées à la notion de programme issue des automates pour donner naissance au calculateur automatique et universel. Parallèlement, la logique, d'art oratoire qu'elle était chez les Grecs avant Aristote, deviendra philosophie puis mathématique avec Boole. On pourra alors l'associer au calculateur pour combler le rêve inconscient de l'être artificiel capable d'une certaine forme de raisonnement et donner ce que l'on appellera plus tard l'ordinateur.

Les limites de l'entreprise, que certains ont tendance à oublier, ont été très tôt exprimées par deux pionniers:

*La machine arithmétique fait des effets qui approchent plus de la pensée que tout ce que font les animaux; mais elle ne fait rien qui puisse faire dire qu'elle a de la volonté comme les animaux.*

B. Pascal, Pensée 617

*La machine analytique n'a nullement la prétention de créer quelque chose par elle-même. Elle peut exécuter tout ce que nous saurons lui ordonner d'exécuter. Elle peut suivre une analyse; mais elle n'a pas la faculté d'imaginer des relations*

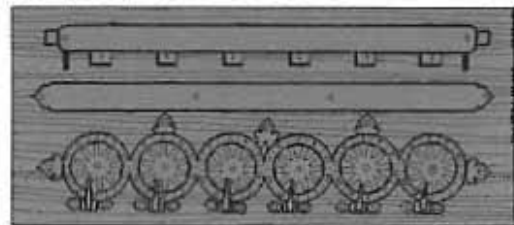
*analytiques ou des vérités. Son rôle est de nous aider à effectuer ce que nous savons déjà dominer.*

Ada Lovelace,  
Taylors Scientific Memoirs, 1848

### Les calculatrices

Abaques et bouliers restèrent longtemps les seuls instruments d'aide au calcul. L'abaque apparaît, semble-t-il, entre l'Inde et la Mésopotamie et restera en usage en Europe jusqu'au XV<sup>e</sup> siècle.

Venu du Moyen-Orient, le boulier se répand dans le monde romain, puis en Europe et en Asie. On trouve sa trace à Rome dès le V<sup>e</sup> siècle avant J.-C. En Extrême-Orient, où son usage reste très vivace, son introduction



n'est pas avérée avant le XII<sup>e</sup> siècle. A l'inverse, en Europe, mis à part en Russie où il prend le nom de « S'choty », le boulier restera d'un usage marginal.

En 947 naît Gerbert d'Aurillac qui deviendra pape sous le nom de Sylvestre II. Novice prometteur, Gerbert est initié aux sciences arabes et perçoit très vite l'intérêt de la numération indo-arabe. Perfectionnant l'abaque, il introduit le zéro arabe et constate que cet instrument n'est plus nécessaire. Le système décimal positionnel que nous utilisons encore aujourd'hui est né. Devenu pape en 999, Gerbert utilisera toute son influence pour le faire accepter, mais sans grand succès. Celui-ci viendra sous l'impulsion de Léonard de Pise qui amène les commerçants italiens à utiliser le système au XIII<sup>e</sup>. Au XIV<sup>e</sup> siècle, la réforme aura définitivement conquis l'Europe. L'invention de l'imprimerie vers 1450 apportera une standardisation des notations.

Le système positionnel est plus complexe que le système additif en vigueur depuis Rome. Il nécessite la mémorisation d'une table de multiplication. Dès le XV<sup>e</sup> siècle, Nicolas Chuquet, resté dans l'Histoire comme le premier Occidental qui comprit la signification des nombres négatifs, recommande « de savoir tout de cœur la multiplication de chacune des dix figures par soi-même et par chacune des autres ». Nos écoliers en savent quelque chose.

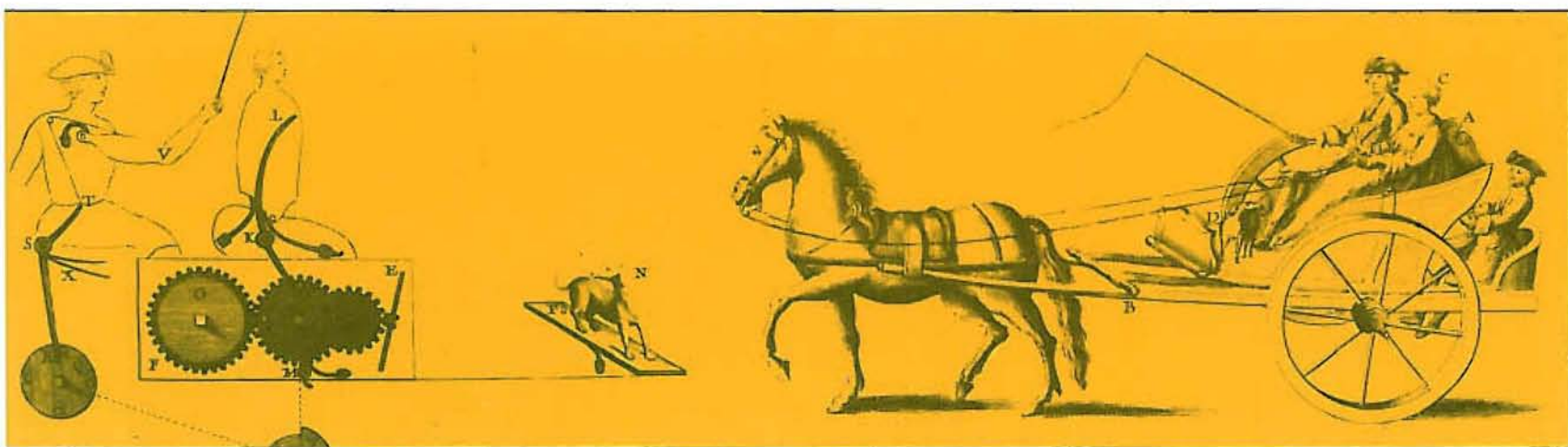
Ce n'est que 150 ans plus tard, en 1617, qu'arrive le premier matériel d'aide à la multiplication, les bâtons de Neper, qui connaîtra un énorme succès et sera utilisé et perfectionné pendant près de 200 ans.

Cet ingénieux dispositif ramène la multiplication à quelques additions. Plus besoin des tables de multiplication. Reste l'addition. En 1958, Franz Hammer découvre fortuitement, dans un lot de documents ayant appartenu à Kepler et qu'avait acheté Catherine II de Russie, deux lettres d'un allemand natif du Wurtemberg, Wilhelm Schickard, décrivant une machine à additionner et soustraire réalisée en 1623. La machine de Schickard et celle de Pascal, réalisée de ma-

appelle l'arithmomètre. Rien qu'en France, près de 1500 exemplaires sont construits et des licences sont concédées à l'étranger. Le succès est tel que le nom d'arithmomètre devient générique et désignera les calculateurs de bureau jusqu'à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle. L'ère des pionniers est terminée. Les calculateurs de bureau seront manuels puis, beaucoup plus tard, électromécaniques avant de virer rapidement à l'électronique. Le pas suivant viendra d'un Anglais, Charles Babbage, qui imaginera le calculateur universel et automatique. Pour ce faire, il aura besoin d'un moyen de programmation souple et simple d'usage: la carte développée par Jacquard.

les (par exemple celle de la cathédrale de Strasbourg) et au mimétisme anatomique. Ce dernier mouvement prendra une telle emprise sur les esprits que, du XVI<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle, beaucoup, de Rabelais à Vaucanson en passant par Descartes, assimileront l'homme à une mécanique, certes évoluée. Plus tard, à l'inverse, la croyance se déplacera vers des machines anthropomorphiques telles que les robots.

La notion de programme fait d'abord appel à la came chez les Grecs, puis au tambour à picots au milieu du XVI<sup>e</sup>. C'est à Salomon de Caus (1576-1625) que nous devons les descriptions des premières machines à programmation par tambour.



nière totalement indépendante 20 ans plus tard, se ressemblent dans leur réalisation. N'ayant destiné sa machine qu'aux comptables, Pascal avait laissé de côté la multiplication. Il réalisa différents modèles pouvant traiter les unités monétaires (deniers, sols, livres) et géométriques (toises, pieds, pouces et lignes).

Schickard avait conçu sa machine pour un savant, son ami Kepler. Il y avait adjoint un jeu de bâtons de Neper qu'il avait amélioré en adoptant une forme cylindrique. Le résultat de la multiplication devait être reporté sur l'additionneuse.

Un an après la mise au point de la «Pascaline» naît à Leipzig Gottfried Wilhelm qui deviendra baron de Leibniz. L'activité de Leibniz sera féconde dans de nombreux domaines. Dès 1670, considérant que les savants ont mieux à faire qu'à calculer, Leibniz s'attaque à la conception d'une calculatrice permettant les quatre opérations. Ce n'est que 24 ans plus tard qu'elle verra le jour. Les solutions imaginées par Leibniz seront reprises dans la plupart des réalisations mécaniques jusqu'à nos jours. Il faudra cependant 130 ans avant que la calculatrice à 4 opérations perfectionnée par divers pionniers connaisse une large diffusion. Le mérite en revient à Charles-Xavier de Colmar qui imagine puis suscite de la part de ses collaborateurs les solutions qui facilitent la fabrication à plus large échelle de ce qu'il

#### Les automates

Si l'on considère que le premier fut le piège du chasseur, l'histoire des automates se perd dans la nuit des temps. Dans toutes les sociétés, même les plus primitives, que le but en fût la magie, la religion, la science ou le divertissement, on retrouve le besoin de créer des figures animées. Les premiers développements conséquents des automates voient le jour quand Alexandrie prend le relais d'Athènes. Apparaît alors le nom de «μηχανοποιόι», constructeurs de machines, pour désigner des hommes qui sont aussi médecins et mathématiciens et s'adonnent à l'invention et au perfectionnement d'automatismes. Lors de la publication par Héron d'Alexandrie de son «Traité des pneumatiques», au I<sup>er</sup> siècle avant J.-C., l'automate a atteint un grand degré de perfectionnement. Le piston, la came, la roue dentée, le siphon et le ressort ont été inventés. Les mécanismes agissent en fonction de leur structure interne; l'action résulte de la combinaison des forces naturelles (pesanteur) et artificielles (vapeur, air comprimé). Le goût des automates passe ensuite à Byzance et à Bagdad sans qu'aucune évolution significative n'intervienne pendant près d'un millénaire.

Aux XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles, les savants espagnols et palermitains héritent du savoir. Son amélioration donnera naissance au machinisme industriel, aux horloges monumenta-

Le pas suivant vient d'une autre branche, le machinisme industriel, plus précisément les machines textiles. Le métier à tisser venu de Sumer via la Chine obligeait le tisserand à se faire seconder par plusieurs aides qui tiraient l'une après l'autre les nombreuses lisses. Vers 1606, Claude Dagon réussit à modifier le métier à la tire de façon qu'un seul aide suffise à la manœuvre. En 1725, Basile Bouchon améliore le dispositif en utilisant une feuille de papier percée de trous pour sélectionner les faces qui doivent être soulevées à chaque passage de la navette. En 1728, Henri Falcon, travaillant de concert avec Bouchon, remplace la bande de papier par une série de cartes. En 1745, Jacques de Vaucanson présente le premier métier à tisser entièrement automatique. Sa capacité reste cependant limitée, car Vaucanson a utilisé le tambour à picots comme support du programme.

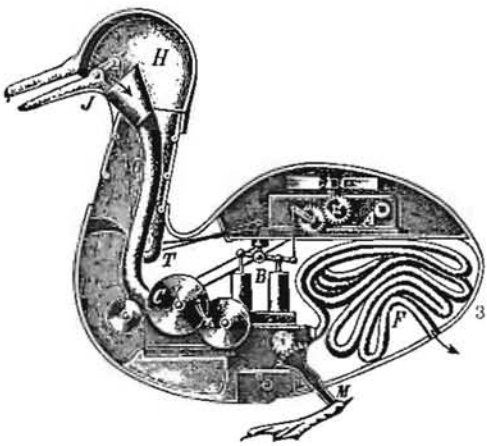
C'est à Joseph-Marie Jacquard que revient le mérite d'apporter une solution durable aux problèmes posés par le tissage complexe, en utilisant notamment la carte perforée développée par Falcon.

La carte perforée sera utilisée par Babbage puis par Hollerith, pionnier de la mécanographie et fondateur d'une entreprise qui prendra le nom d'IBM. La mécanographie jouera un grand rôle social, préparant la voie à l'ordinateur sans lui apporter d'élément significatif. Les firmes engagées dans la

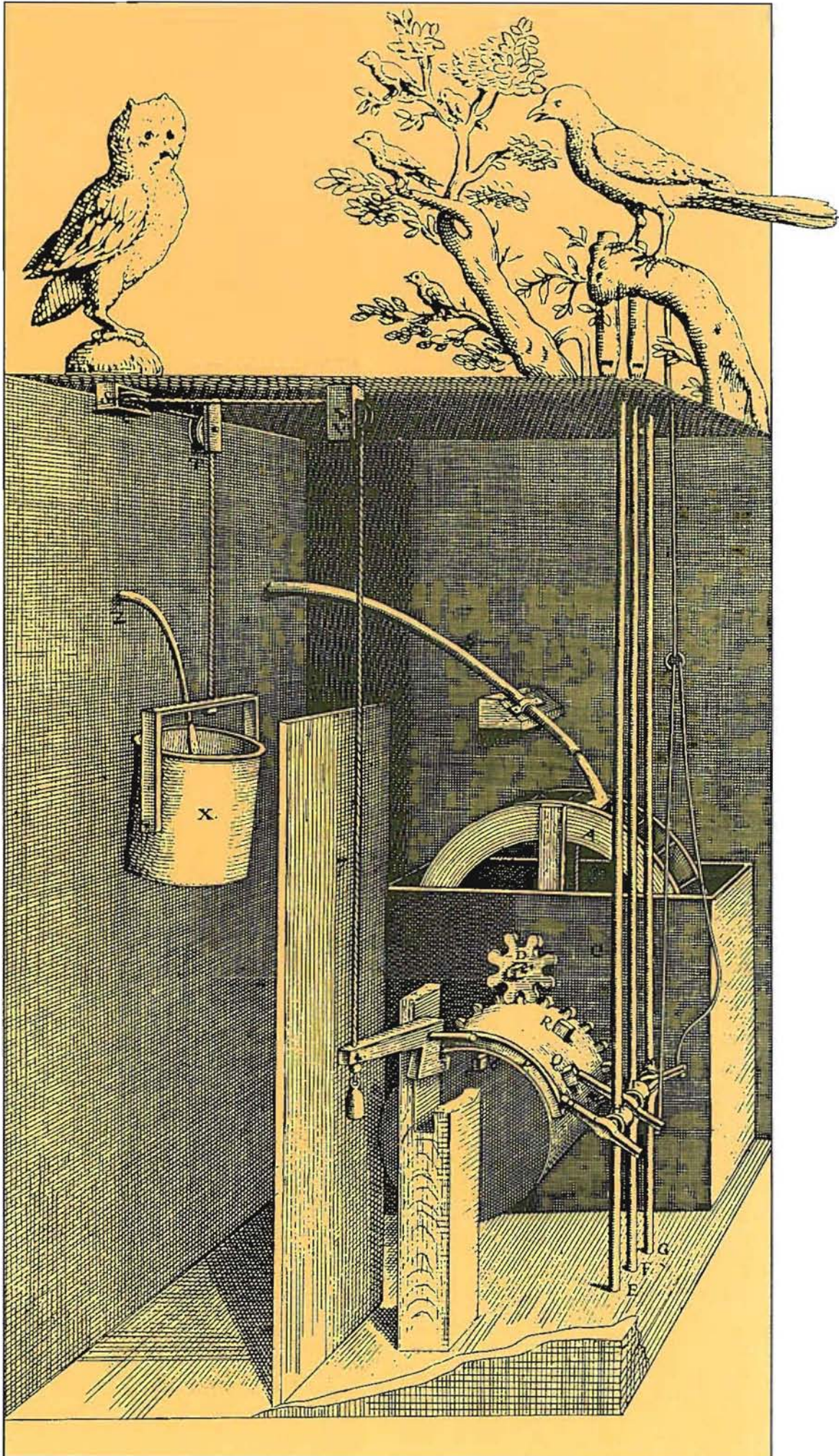
1. Automate présenté par Maillard, en 1733, devant l'Académie royale des sciences. Deux mécanismes indépendants assurent les mouvements respectifs du cheval et des passagers.
2. Reconstitution, d'après les descriptions de Héron d'Alexandrie, d'une « machine animée ». Gravure sur bois extraite d'un ouvrage de Kircher (1652).
3. Le « canard » de Jacques de Vaucanson (1738). Cet automate, fort élaboré, permettait de reproduire mécaniquement l'essentiel des mouvements d'un canard, y compris ceux de son appareil digestif.
4. Automate à programmation par tambour, développé par Salomon de Caus (1576-1625). Planche extraite d'un ouvrage paru à Francfort en 1615.



2



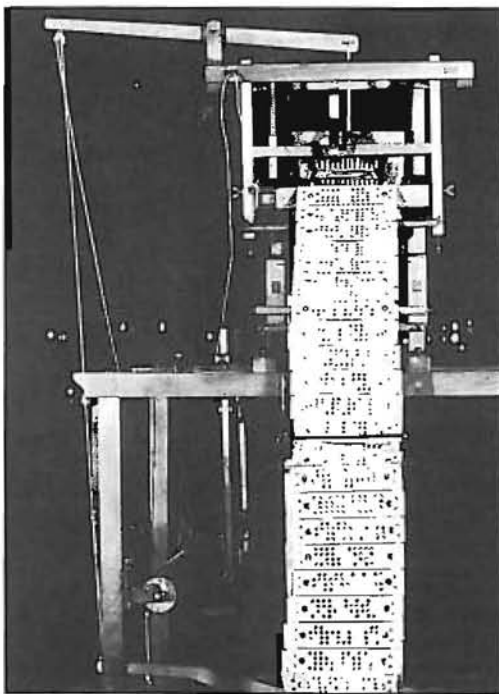
3



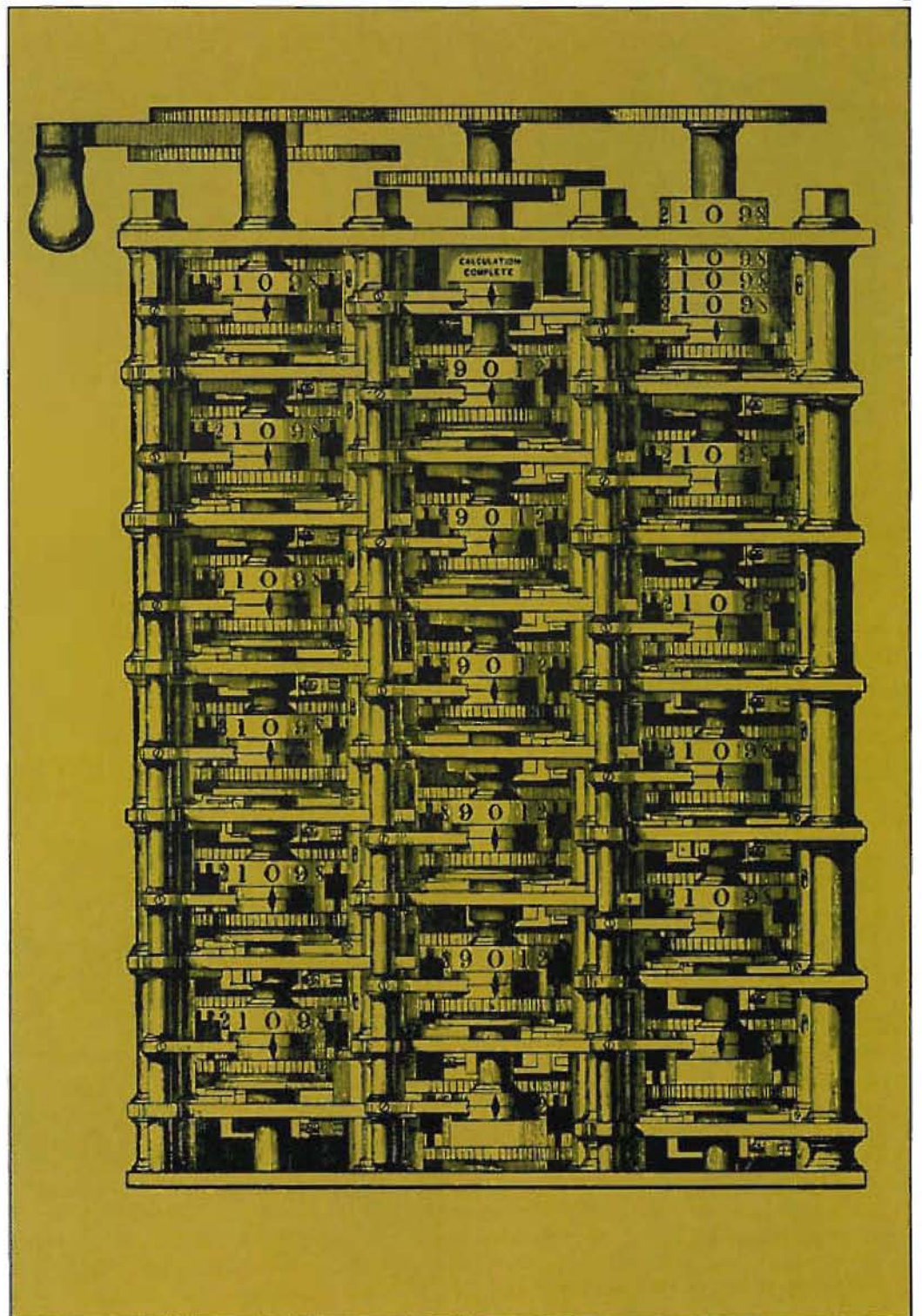
4

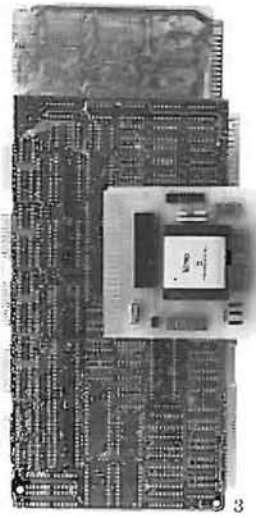


1. «L'Écrivain», automate construit, en 1770, par Pierre Jaquet-Droz et son fils Henri-Louis.  
2. La machine à différences de Charles Babbage. Babbage ne put mener à bien le projet d'automatiser complètement les calculs arithmétiques. Trop coûteuse, l'entreprise tourna court et seule une partie de la machine put être réalisée.

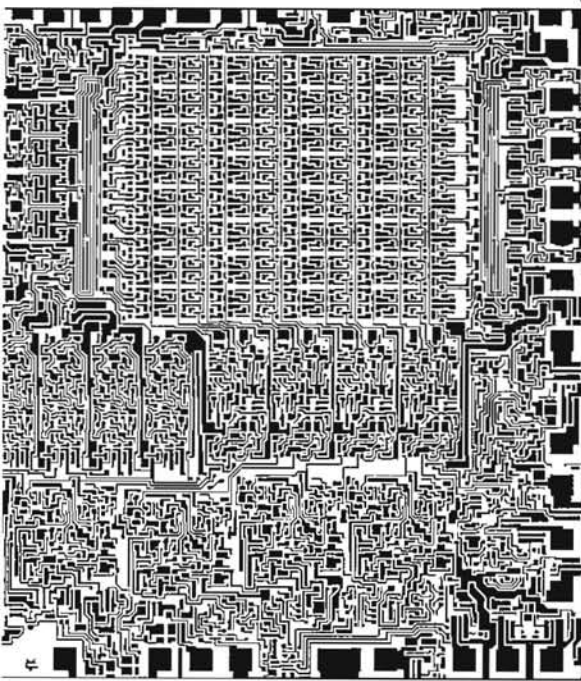


Métier Jacquard. Le métier à tisser automatique, conçu en 1804 par Joseph-Marie Jacquard, fut la première machine au monde à tirer parti des cartes perforées, développées en 1798 par Falcon.

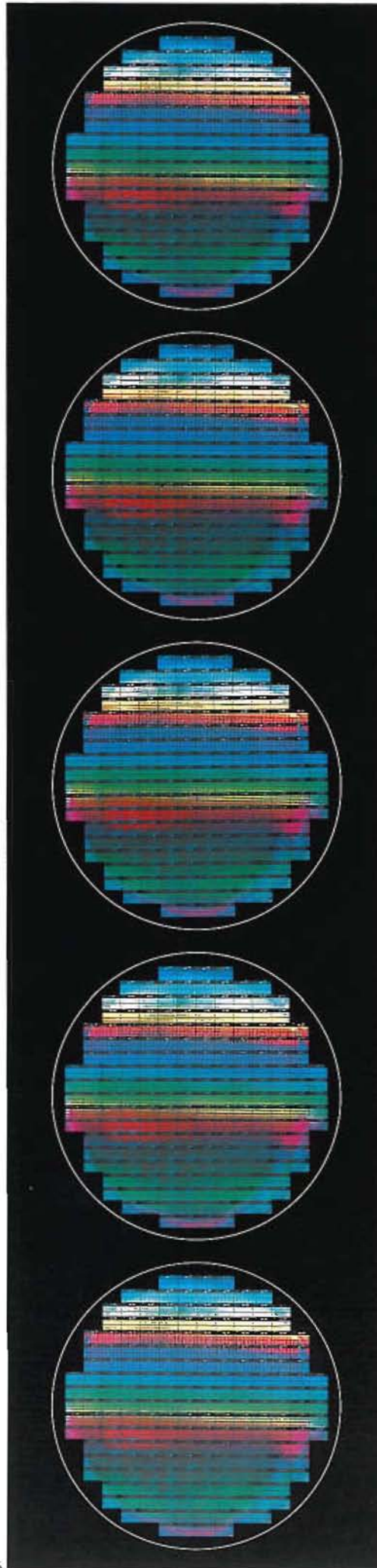




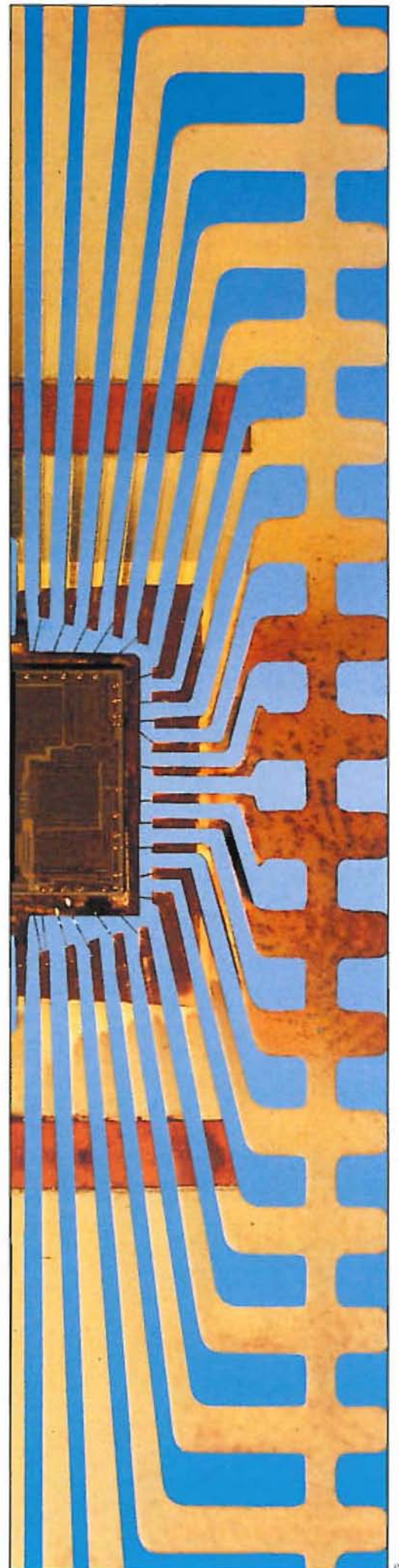
3



4



5



6

3. Microprocesseur. En 1971, Intel met au point le premier microprocesseur. Rassemblant les fonctions élémentaires d'un ordinateur sur un seul composant électronique, il comportait l'équivalent de 2300 transistors et fonctionnant sur 4 bits.

4. Circuit intégré. Mis au point en 1959, le circuit intégré est un dispositif électronique dans lequel les différents composants (transistors, condensateurs, résistances, etc.) sont interconnectés au sein même d'un mince substrat semi-conducteur. Cette découverte rendit possible l'élaboration de circuits électroniques complexes réalisant des fonctions complètes.

5. Microplaquettes de silicium de 20 cm de diamètre servant à la fois de support et de matériau aux nouvelles puces-mémoires d'IBM. Chaque microplaquette contient 300 puces de 4 mégabits, soit 90 000 fois plus de texte qu'une feuille de papier de dimensions égales.

6. Microprocesseur. Les performances d'un ordinateur varient en fonction de la densité électronique. Si cette dernière est faible, les premières resteront médiocres. L'intégration à grande échelle a fait son apparition au début des années 1970 pour permettre la production de composants électroniques de plus en plus complexes et de plus en plus petits.

mécanographie, comme IBM, NCR, Bull, Burroughs, Remington-Rand, Ferranti, accumuleront un pactole qui leur permettra de développer les premiers ordinateurs commerciaux.

#### Le calculateur automatique et universel

Dès la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, de nombreuses éditions de tables mathématiques voient le jour. Calculés et composés à la main, ces ouvrages souffrent de nombreuses erreurs. De 4000 erreurs en 40 tomes pour une bonne édition, on peut aller à 40 erreurs par page pour une édition bon marché. Les calculs sont fastidieux et occupent de nombreux mathématiciens. Pour faciliter ce travail, Marie Riche, baron de Prony, utilisera la méthode des différences finies, lorsqu'il sera chargé de dresser les nouvelles tables rendues nécessaires par l'introduction du système métrique. Les calculs, poussés jusqu'à la 14<sup>e</sup> décimale, seront réalisés par deux équipes séparées. Reste le problème des erreurs de composition.

Impressionné par ce travail et excédé par le nombre d'erreurs qu'il découvre dans les tables à sa disposition, Charles Babbage a l'idée de réaliser une machine fondée sur la méthode des différences finies. Cette machine doit pouvoir enchaîner les calculs et imprimer le résultat. Babbage investit une bonne partie de sa fortune dans cette réalisation, et réussit à se faire aider par le gouvernement britannique, ce qui constitue une première.

Malgré cela et probablement à cause du corporatisme des ateliers de mécanique et de la trop grande ampleur de la réalisation, Babbage ne parvient pas à mettre au point sa machine. Le désengagement de Clément, le mécanicien qui réalise l'usinage, lui fait perdre tous ses plans, ceux-ci appartenant de droit au réalisateur. Des «machines à différence» moins ambitieuses seront construites en Suède du vivant de Babbage, par George et Edward Scheutz et Martin Wiberg. Ce genre d'équipement sera perfectionné et restera en usage jusqu'en 1930 avec la dernière réalisation : l'IBM «Packard».

Privé des plans de sa machine, Babbage entreprend en 1833 de repenser la structure de celle-ci. Par améliorations successives, il arrive à sa «machine analytique» pour laquelle il imagine de nombreuses solutions que l'on retrouve dans les ordinateurs modernes : une unité de calcul ou «moulin» séparée de la mémoire ou «magasin», un compteur d'opérations, un dispositif de contrôle qui préfigure le microcode, des entrées séparées pour les programmes, les données et les constantes par cartes «Jacquard», une imprimante et même un traceur de courbes mathématiques. Babbage fabrique des parties de la «machine analytique» mais n'envisage pas de la réaliser. Son fils en mettra au point une version simplifiée qui, en 1906, imprimera une table des multiples de  $\pi$  avec

29 chiffres significatifs. Les solutions imaginées par Babbage tomberont dans l'oubli et c'est par des voies différentes que la plupart des inventeurs arriveront, un siècle plus tard, aux mêmes conclusions.

Babbage peut néanmoins être considéré comme l'authentique grand-père du calculateur universel et automatique. Il a su reconnaître l'intérêt de la notion de programmation empruntée au métier à tisser et aux automates.

La machine analytique est-elle un ordinateur? Au sens actuel du terme, non! On appelle ordinateur une machine qui peut mémoriser des données, lettres, nombres, symboles et images et peut les manipuler selon les directives d'un programme également stocké dans la machine. On peut imaginer que l'exécution des instructions contenues dans le programme se fasse séquentiellement en partant de la première. Si cette manière de procéder suffit à un calculateur programmable, Turing montrera qu'il faut pouvoir modifier l'ordre d'exécution pour prétendre résoudre presque n'importe quel problème logique ou mathématique. Que manque-t-il donc à la «machine analytique» pour être un ordinateur? La capacité de stocker le programme, un système universel de codage de l'information et une représentation des problèmes logiques selon ce code. La représentation sera la notation binaire.

#### La notation binaire

Des figurations binaires ont été trouvées dans les vestiges de plusieurs civilisations du Moyen-Orient et d'Asie. Dès 1650 avant J.-C., les Egyptiens utilisent la progression binaire pour faciliter la multiplication. Le plus ancien document binaire d'Europe est une table des 31 premiers nombres décimaux dressée par le savant anglais Thomas Hariot. On ignore tout de son dessein. Francis Bacon, politicien, scientifique et philosophe souhaitant pouvoir transmettre la pensée à distance par des moyens simples ne présentant que deux états, utilisera une notation binaire pour coder les lettres de l'alphabet. Tout ceci ne reste que jeu de l'esprit jusqu'à la rédaction, le 15 mars 1679, d'un court ouvrage intitulé *De Progressio Dyadica* (traduit en allemand sous le titre *Rechnung mit Null und Eins*) dont l'auteur n'est autre que Leibniz. Leibniz y voit la perfection de la création de Dieu, mais aussi la base d'un langage symbolique permettant de représenter des idées simples et leurs relations. Près de 200 ans plus tard, George Boole formalisera ce qu'avait perçu Leibniz. Ce sera la logique symbolique.

Presque en même temps et indépendamment, Fantet de Lagny «invente» l'arithmétique binaire. A l'opposé de Leibniz, Lagny ne charge pas la notation binaire de significations métaphysiques. Il n'y voit qu'un outil de calcul extrêmement simple dont l'exploitation judicieuse permettra à la science

d'accomplir de grands progrès. De fait, le binaire se développera progressivement avec ses avocats et ses théoriciens qui montreront l'équivalence des relais, puis des circuits électriques, et de la notation binaire. Le point d'orgue sera joué par Claude Shannon qui, en 1937, montrera dans sa thèse «A Symbolic Analysis of Relays and Switching Circuits», l'isomorphisme de l'algèbre de Boole et des relais en représentation binaire.

#### La logique symbolique, un apport décisif

La logique puise ses racines dans la dialectique. On la conçoit alors comme un art donnant des préceptes pour la pratique de la discussion publique. Aristote crée la logique avec l'*Hermeneia* et les *Premiers analytiques*. Il apporte le syllogisme et introduit les variables. La logique devient alors formelle.

Comme d'autres connaissances qui nous viennent des Grecs, la logique sera transmise à l'Europe par les Arabes, mais l'œuvre d'Aristote ne sera connue dans son entièreté que vers la fin du XII<sup>e</sup> siècle. Une scission s'opère alors entre ceux qui, comme Thomas d'Aquin, accommodent la logique et les dogmes chrétiens, et les disciples de Guillaume d'Ockham qui veulent une logique autonome.

A partir de la Renaissance, l'intérêt se déplace vers la dialectique et la recherche de méthodes. Les philosophes cherchent une méthode pour connaître la vérité des choses. C'est l'époque de Port-Royal.

Comme nous l'avons vu plus haut, Leibniz va approfondir la logique traditionnelle en cherchant une logique générale. Il va trouver son modèle dans l'algèbre. Malheureusement, le langage de l'algèbre est limité à l'expression de la quantité. Leibniz est sur la bonne voie, mais son œuvre n'aura qu'une influence limitée. Son rêve sera réalisé par George Boole qui publie en 1847 son *Mathematical Analysis of Logic*.

Boole apporte à la logique une procédure de décision pour des problèmes complexes en se fondant sur une notation binaire. Ses travaux ainsi que ceux de A. de Morgan sur la logique des relations seront développés par Pierce, Frege, Peano puis par Russell qui, de 1910 à 1913, publie en collaboration avec Whitehead trois gros volumes de référence. Cette œuvre, intitulée *Principia Mathematica*, cherche à déduire l'ensemble des mathématiques de la logique, et ce sans contradiction. Etait-on certain que les méthodes élaborées par Russell et Whitehead couvraient la totalité des mathématiques (notion de complétude)? Etait-on certain qu'aucun mathématicien ne pourrait dériver des résultats contradictoires en utilisant ces méthodes (problème de consistance)? Ce double problème va occuper un grand nombre des plus éminents mathématiciens pendant les premières années du XX<sup>e</sup> siècle, jusqu'à ce que Kurt Gödel montre qu'il

serait vain d'espérer prouver la consistance d'un système tel que celui présenté dans le *Principia Mathematica*.

Le théorème de Gödel a un équivalent dans la théorie du calcul, révélé en 1937 par Turing dans un article intitulé « On computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem ». Les travaux de Gödel et Turing montrent donc qu'il est des problèmes logiques ou mathématiques que l'ordinateur même le plus puissant ne peut traiter dans un temps fini.

Pour cette démonstration, Turing a inventé une machine hypothétique composée d'un dispositif de lecture et d'écriture mobile par rapport à un ruban indéfiniment extensible composé de cases. Dans chaque case peut être inscrit un symbole. Le dispositif de lecture et d'écriture peut lire, effacer ou écrire les symboles en se déplaçant d'une case à la fois, à droite ou à gauche. Quoi d'extraordinaire dans cette machine? En fait, Turing montre qu'elle peut traiter presque tous les problèmes logiques et mathématiques. La machine universelle est née. Ses limitations sont connues.

#### Epilogue

Dès lors, toutes les pièces du puzzle sont en place. Depuis les machines de Manchester en 1948 et de Cambridge en 1949, les ordinateurs se succèdent. Ils gagnent en fiabilité et en compacité avec l'apport du transistor, du circuit intégré et du microprocesseur. Malgré des évolutions technologiques gigantesques, l'ordinateur reste pratiquement inchangé dans ses principes.

Juste retour des choses, l'ordinateur sert les automates – qu'ils soient robots ou machines-outils –, l'horlogerie et les mathématiques avec la démonstration de théorèmes. De fait, l'ordinateur est devenu un outil pratiquement indispensable dans tous les domaines.

Jusqu'à nos jours, l'informatique et plus généralement la science n'ont été utilisées que pour l'analyse. La voie de la création reste à explorer!

#### Bibliographie

- R. Ligonnière: *Préhistoire et histoire des ordinateurs*, Laffont, Paris, 1987.  
 Ph. Breton: *Histoire de l'informatique*, La Découverte, Paris, 1987.  
 S. Augarten: *Bit by Bit*, George Allen & Unwin, Londres, 1984.  
 «Logique», *Encyclopedia Universalis*.

*Unité de montage à bras linéaire.*

*Le développement fulgurant de l'informatique a eu pour conséquence la multiplication des robots industriels et la standardisation accrue des procédés de fabrication.*

