Chapitre 1

Histoire de l'ordinateur

1.1 Introduction

L'homme a toujours eu besoin de compter. Au cours de la Préhistoire, il ne savait calculer qu'à l'aide de cailloux (latin : *calculi*) ou de ses mains, qui furent sans doute les premières calculatrices de poche. On trouve des traces de symboles et de chiffres dans certaines civilisations de l'Antiquité, quelques millénaires avant notre ère. Chinois, Égyptiens, Sumériens, Babyloniens, Grecs ou Romains, tous avaient des symboles numériques et des méthodes pour compter et calculer.

Ces systèmes de numération s'inspiraient naturellement du nombre de doigts ; c'est ainsi que les Romains, par exemple, établirent des symboles spéciaux pour indiquer 5 et 10 unités (V et X). Dans certaines civilisations pieds-nus utilisant les mains et les pieds pour compter, le nombre 20 était parfois choisi comme base de numération. Dans certaines régions asiatiques, on comptait en se servant des articulations des doigts ou des phalanges, d'où des numérations en base 12, 14, 15, 24, 30, 60, etc.

Les doigts ont servi à nos ancêtres pour compter et pour effectuer toutes sortes d'opérations arithmétiques. On retrouve des traditions de calcul digital chez les anciens Égyptiens, les Grecs et les Romains, mais aussi chez les Chinois, les Aztèques du Mexique précolombien, les Indiens, les Persans, les Arabes, etc.

Curieusement, on utilise, en langue anglaise, le terme de calcul digital dans la nouvelle science informatique, le mot *digit* ayant le sens de chiffre. En français, on parlera plutôt de calcul numérique pour éviter un contresens. Dans les ordinateurs, on utilise des **bits** (le terme bit est la contraction de l'expression anglaise *binary digit*), l'écriture binaire des nombres ne comportant que les deux chiffres 0 et 1.

La plus naturelle et la plus répandue des numérations était celle qui comptait en base 10 et elle nous est parvenue à travers les siècles avec ses symboles introduits par les Indiens, modifiés et complétés par les Arabes. Notre système décimal actuel est le résultat de cette évolution et des moyens mis en œuvre pour lui donner des formes adaptées à l'expression écrite et orale et aux méthodes de calcul.

Si le système décimal est celui de l'immense majorité des hommes, il ne faut pas oublier que d'autres sont toujours utilisés, tel le système sexagésimal (base 60) pour exprimer les mesures du temps, tout comme celles des arcs et des angles. L'origine du système

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

sexagésimal remonte aux Sumériens. Au cours de l'histoire, on trouve aussi souvent le nombre 12 à la base de nombreux systèmes de comptage et de mesure, par exemple dans la division du jour en heures.

Parallèlement à cette évolution des signes, chiffres, calculs mentaux et manuels, on assistait au développement d'outils, de systèmes, de machines pour simplifier et accélérer les calculs nécessaires, par exemple pour garder la trace des transactions commerciales ou des cycles astraux et pour faire face aux besoins croissants des paysans, de l'armée et d'une société en pleine évolution.

1.2 Développement historique et conceptuel

Il y a 2 000 ans, les civilisations méditerranéennes utilisaient l'abaque pour leurs calculs. Bien avant l'ère chrétienne, les Chinois comptaient à l'aide de bouliers et dans certains pays (Russie, Chine, Japon, etc.) on en trouve encore plusieurs sortes couramment utilisées dans les commerces, les banques, etc. Mais il fallut attendre le XVIIe siècle, époque de grandes effervescences intellectuelles, pour voir apparaître des systèmes de calcul plus rapides et plus automatiques. Les débuts furent lents et difficiles.

La numération romaine, utilisée en Europe pendant le premier millénaire de notre ère, n'était pas une numération positionnelle ; c'est-à-dire que la position des chiffres dans la représentation d'un nombre n'était pas associée à des poids implicites (unités, dizaines, centaines, etc.) permettant une écriture des nombres plus compacte (MDCCCLXXIII = 1873) et une grande simplification des calculs. Les Romains ne connaissaient pas le zéro ! L'étonnante idée du zéro vint à l'esprit des Indiens et des Arabes quelques siècles après Jésus-Christ. Le chiffre zéro fît son apparition en Europe dans un manuscrit célèbre sur les chiffres indiens, écrit par le mathématicien Al-Khwarizmi vers l'an 820 après J.-C. (les savants de Babylone connaissaient apparemment une numération en base 60, positionnelle, avec le chiffre zéro, déjà au IIIe siècle avant J.-C.). Les chiffres arabes sont adoptés en Europe au cours du XIe siècle, mais il faut attendre le milieu du XVIe siècle pour voir des ouvrages traitant de méthodes arithmétiques.

Au Moyen Âge, la culture était l'affaire des moines et la diffusion de l'arithmétique était limitée à quelques privilégiés ayant accès aux rares traités de l'époque. Les besoins en calcul augmentant sans cesse, des sociétés secrètes se chargeaient de résoudre les problèmes de comptabilité des commerçants. À l'aube du XVIIe siècle, des savants commencèrent à s'intéresser aux systèmes d'aide au calcul.

En 1614, le mathématicien écossais **John Neper** présente sa théorie des logarithmes. Les tables de Neper, qui transformaient des multiplications compliquées en de simples additions, donnèrent naissance à la règle à calcul, un outil pratique et efficace créé en 1620. Neper inventa aussi un système non logarithmique (pour simplifier les multiplications) basé sur le simple déplacement de tiges (Bâtons ou Os de Neper). En 1623, **Wilhelm Schickard** construit à Tuebingen en Allemagne, la première machine à

calculer en appliquant le principe du déplacement de tiges développé par Neper. Sa machine se perd au cours de la guerre de Trente Ans ; de ce fait, on ne sait pas exactement si, et éventuellement de quelle manière elle fonctionnait. Les quelques dessins qui nous sont parvenus semblent prouver que Schickard avait utilisé des roues chiffrées et s'était attaqué au problème de la retenue. Bien que le principe des roues dentées et autres engrenages fût connu depuis des siècles (astrolabes, horloges des églises, etc.), les techniques de construction étaient primitives et la fiabilité résultante assez modeste. Schickard se plaint d'ailleurs de ses problèmes de mécanique dans ses lettres à Kepler, où l'on trouve de précieuses indications sur la conception de sa machine. À partir de ses dessins, une réplique de la machine, améliorée pour être fonctionnelle, fut construite en 1971.

En 1642, à Paris, **Pascal** présente une machine qui peut additionner et même soustraire des nombres de six chiffres. En dix ans, il en construit plus de cinquante versions dont certaines peuvent calculer avec huit chiffres. Des exemplaires sont conservés à Paris. Son système est basé sur une série de roues dentées figurant les colonnes décimales. Le problème de la retenue est résolu de la manière suivante : chaque roue peut dépasser le chiffre 9 en effectuant une rotation complète et en décalant d'un cran la roue immédiatement supérieure. Pascal a réalisé sa première machine, la Pascaline, alors qu'il n'avait que 19 ans.

La machine de Pascal pouvait en principe exécuter des opérations plus complexes, telle la multiplication, par des méthodes compliquées d'additions répétitives. Mais il faudra attendre 1673 pour voir apparaître une calculatrice capable d'exécuter automatiquement les quatre opérations arithmétiques. Ce sera l'œuvre d'un génie allemand, **Leibniz**, qui ajoutera aux mécanismes de la Pascaline un chariot mobile et une manivelle permettant d'accélérer et d'automatiser l'exécution des additions et des soustractions répétitives exigées par les multiplications et les divisions. Les principes des machines de Pascal et de Leibniz seront adoptés dans la conception des machines à calculer pendant près de trois siècles !

Leibniz, qui avec Newton est à l'origine du calcul différentiel et intégral, inventa aussi le système binaire sous sa forme moderne (des numérations base 2 existaient déjà en Chine dans l'Antiquité) avec ses deux chiffres 0 et 1, et souligna la puissance et la simplicité de l'arithmétique binaire, qui sera finalement adoptée par la plupart des ordinateurs contemporains. Des exemples de numérations utilisées au cours de l'histoire sont résumés dans la table 1.1.

On peut à juste titre considérer le XVIIe siècle comme un tournant dans le développement de la connaissance scientifique. Des géants tels **Galilée**, **Newton** et **Leibniz** sont à l'origine d'une véritable révolution intellectuelle qui propulsa l'Europe au premier plan dans le développement des mathématiques et dans leur application aux sciences naturelles, dépassant ainsi les Arabes, les Indiens et les Chinois. C'est au XVIIe siècle qu'on a conceptualisé les bases de la science moderne et c'est là qu'on trouve les racines de ce grand développement d'idées qui conduira à l'ordinateur.

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

Table 1.1 : Différents systèmes de comptage

BASE 1 :	comptage avec les doigts, cailloux, entailles
BASE 2 :	système **binaire :** logique symbolique, ordinateurs
BASE 5 :	système **quinaire :** Aztèques
BASE 7 :	notes musicales, jours de la semaine
BASE 8 :	système **octal :** premiers ordinateurs
BASE 10 :	système **décimal :** adopté par l'Homme
BASE 12 :	gamme des notes et demi-tons ; monnaie et mesures anglaises ; mois ; heures (2 fois 12)
BASE 16 :	système **hexadécimal :** ordinateurs
BASE 20 :	comptage sur les doigts des mains et des pieds ; Mayas
BASE 24 :	heures du jour
BASE 60 :	degrés, minutes et secondes ; angles ; savants de Babylone

1.3 Progrès au XIXe siècle

En 1728, le mécanicien français **Falcon** construit une commande pour métier à tisser à l'aide d'une planchette en bois munie de trous. C'est la première machine capable d'exécuter un programme externe. En 1805, **Joseph Jacquard** perfectionne le système de Falcon en remplaçant les planches en bois par des cartons troués articulés (les premières cartes perforées), qu'on peut encore voir de nos jours dans certains orgues de manège. Le système à bande de programmation de Jacquard permet de produire les dessins les plus compliqués en grande quantité et de qualité toujours égale. Il s'agit du premier pas de la révolution industrielle, mais aussi d'une étape très importante vers l'exécution automatique des calculs les plus complexes.

Au milieu du XIXe siècle, on s'approche conceptuellement et matériellement de l'ordinateur grâce aux idées et au travail exceptionnel d'un mathématicien anglais : **Charles Babbage**, considéré comme le grand-père de l'ordinateur pour avoir fait le rapprochement entre les machines à calculer et les systèmes de commande automatique de Jacquard.

De 1822 à 1832, Babbage est totalement absorbé par la conception d'une machine capable de calculer et d'imprimer des tables numériques selon la méthode des différences. Il construit un prototype, basé sur des roues dentées glissant sur des arbres actionnés par une manivelle. Avec l'aide de l'État et le soutien de la Royal Society, il entreprend la construction d'un modèle utilisable. Il se heurte alors à des problèmes techniques et son projet prend du retard. Après dix ans de travail acharné, les subventions sont suspendues et il doit abandonner sa machine à différences.

En 1833, Babbage se lance dans la réalisation d'une machine encore plus ambitieuse, la machine analytique. Elle était conçue pour faire des séquences d'opérations arithmétiques en fonction d'instructions données par l'utilisateur. Ce serait donc une

machine aux applications les plus variées : le premier calculateur programmable ! On trouve dans sa machine analytique des idées très avancées pour l'époque, qui seront adoptées ou réinventées par les constructeurs d'ordinateurs une centaine d'années plus tard, comme la notion de processeur, de mémoire, de programme ou de techniques d'entrées/sorties par cartes perforées.

Babbage pouvait compter sur l'aide et le soutien d'un autre personnage de son temps, **Ada Augusta** comtesse de Lovelace (fille du célèbre poète anglais Lord Byron) qui laissa à la postérité des dessins et des descriptions de la machine analytique. Elle laissa aussi des programmes qui constituent une véritable première dans l'histoire de l'ordinateur. Malheureusement ces programmes ne seront jamais exécutés.

La machine de Babbage était probablement irréalisable avec les techniques et les outils de son temps. Elle devait fonctionner comme une locomotive à vapeur et était beaucoup trop complexe et ambitieuse. Elle ne sera jamais complétée. Babbage passa sa vie sur ce projet et y dépensa toute sa fortune. Il ne nous reste que des centaines de dessins et plans ainsi que quelques parties nous montrant quelles difficultés Babbage avait rencontrées dans la réalisation de son invention. Sa machine à différences devait connaître un meilleur sort. Reprise en main par un inventeur suédois, P.G. Scheutz, une version réduite sera réalisée avec l'aide de Babbage et présentée à Londres en 1854.

C'est précisément en 1854 qu'un mathématicien anglais, **George Boole**, publie un essai, intitulé *Une étude des lois de la pensée*, dans lequel il expose ses idées sur la formulation mathématique des propositions logiques. Reprenant les spéculations de Leibniz, Boole conçoit un système de logique symbolique, appelé algèbre booléenne qui révolutionnera la science de la logique. Un siècle plus tard, ses formules appliquées au système de numération binaire rendront possible l'ordinateur numérique électronique.

Avant la fin du XIXe siècle, l'Américain **Hermann Hollerith** construit un calculateur de statistiques fonctionnant avec des cartes perforées pour accélérer le traitement des données du recensement américain de 1890. Inspiré par les travaux de Babbage et par les applications des cartons troués dans la commande des métiers à tisser, il perfectionne la carte perforée et un système de codage des informations qui porte son nom. La carte de Hollerith comprenait douze rangées de vingt positions à perforer pour figurer les données du recensement de la population des États-Unis (âge, profession, situation de famille, etc.).

Une fois perforées, les cartes étaient placées dans des lecteurs qui détectaient les trous. Ceci à l'aide d'aiguilles qui traversaient les trous et établissaient un circuit électrique en trempant dans des petits pots de mercure placés de l'autre coté de la carte. Le système de Hollerith était si rapide qu'un premier décompte fut établi en quelques semaines et une analyse statistique complète en deux ans et demi. La population était passée en dix ans de 50 à 63 millions d'individus, mais le recensement de 1890 avait été fait en trois fois moins de temps qu'en 1880 ! Hollerith fonda la *Tabulating Machines Company* pour produire ses systèmes à cartes perforées. Sa compagnie rencontra un succès de longue durée. En 1924, cinq ans avant la mort de son fondateur, elle devint l'*International Business Machines Corporation*, ou IBM.

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

Dans le même temps, les premières machines analogiques utilisées pour effectuer des calculs mathématiques sont inventées comme le calculateur de marées par Lord Kelvin en 1872. Sa machine utilise des roues avec des chevilles décentrées pour produire un mouvement sinusoïdal et une corde glissant sur des poulies pour additionner les différentes harmoniques.

1.4 XXe siècle

Les machines à cartes perforées continuent à se développer pendant la première moitié du siècle. Durant cette période, on assiste aussi à la naissance d'une véritable industrie des calculatrices de table.

Les machines analogiques sont développées pour des applications de calcul scientifique : calculateur de tir, analyse harmonique, mécanique des fluides… Dès 1930, on voit apparaître des machines analogiques mixant pièces mécaniques et signaux électriques pour représenter les fonctions mathématiques. Parmi les pionniers du calcul analogique, il faut citer **Vannevar Bush** qui construisit au MIT un analyseur différentiel capable d'aider à la résolution d'équations différentielles complexes. Il s'agissait d'une machine énorme, assez rudimentaire et d'utilisation difficile. D'autres machines de ce type suivront et seront utilisées jusqu'aux années soixante.

Les années trente sont riches en développements et il faut souligner les contributions fondamentales de Shannon et Turing. Dans sa thèse publiée au MIT *(Massachusetts Institute of Technology)* en 1938, **Claude Shannon**, reprenant les idées de Leibniz et de Boole, fit le rapprochement entre les nombres binaires, l'algèbre booléenne et les circuits électriques. Dix ans plus tard, il publiera une théorie mathématique de la communication qui expose ce que l'on appelle aujourd'hui la **théorie de l'information**. Shannon prouva que les chiffres binaires conviennent également pour les relations logiques et que tous les calculs logiques et arithmétiques peuvent être réalisés à l'aide des trois opérations logiques de base : ET, OU et NON. Ses brillantes conceptions influencèrent le développement des télécommunications ainsi que celui des ordinateurs.

Alan Turing, jeune théoricien de l'université de Cambridge, publie en 1936 son essai fondamental, *A propos des nombres calculables*, où il traite de problèmes théoriquement impossibles à résoudre. Il énonce le principe d'une machine universelle, purement imaginaire, la **Machine de Turing**, qui préfigure les caractéristiques de l'ordinateur moderne. Ses idées étaient directement applicables à la logique mathématique, mais Turing cherchait à établir une description rigoureuse de toute opération mentale. Il traitera aussi de l'art de programmer. L'évolution de sa pensée et l'entrée en guerre de son pays l'amèneront à s'occuper de la conception effective de machines contribuant au décryptage des communications allemandes.

Vers la fin des années trente, d'autres chercheurs parvinrent à la conclusion que la logique booléenne pouvait être employée efficacement dans la conception des

calculateurs. L'adoption du système binaire au lieu du décimal était aussi dans l'esprit de certains pionniers. **Konrad Zuse** à Berlin, **John Atanasoff** à l'université de l'État de Iowa et **George Stibitz** aux Laboratoires Bell, travaillant indépendamment, construisirent des prototypes de machines binaires. Dès 1936, Zuse fabrique avec des moyens très modestes des machines électromécaniques, qu'il appelle Z1 et Z2, fonctionnant selon le système binaire. En 1938, il propose la construction d'un calculateur électronique comportant 1 500 tubes à vide, mais le gouvernement allemand juge le projet irréalisable. Zuse construit alors un calculateur binaire universel avec 2 600 relais de téléphone, le Z3. Les programmes sont introduits au moyen d'un film vidéo perforé. Une multiplication dure environ 5 secondes. Le Z3 sera terminé en 1941 et, comme d'ailleurs son successeur le Z4, sera effectivement utilisé pour résoudre des problèmes de conception aéronautique et de missiles.

Parmi les derniers précurseurs de l'ordinateur il faut citer Mark 1, une énorme machine électromécanique construite entre 1939 et 1944 par IBM et l'université de Harvard, sous la direction de **Howard Aiken**. Ce calculateur, capable de multiplier deux nombres de 23 chiffres décimaux en 6 secondes et d'effectuer des additions ou soustractions en trois dixièmes de seconde, était conçu sur la base du système décimal. Avec ses milliers de roulements à billes et ses 760 000 pièces électromécaniques, le Mark 1 était une sorte de machine analytique du XXe siècle ; en fait, il se révéla obsolète avant même d'être terminé.

1.5 Naissance de l'ordinateur : 1945

Toutes les prototypes de la période 1935-1945 recevaient les instructions à l'aide de cartes, bandes ou films perforés et pouvaient faire des opérations arithmétiques en quelques secondes. Elles réalisaient les idées de Babbage un siècle après ses efforts. La Z3 avait été la première à fonctionner en 1941 avec trois ans d'avance sur les machines américaines de Stibitz et Aiken. On pouvait faire des calculs complexes dix fois plus vite qu'avec des calculatrices de table. Mais la gloire de ces machines électromécaniques sera de courte durée. L'ère de l'électronique allait commencer.

C'est en 1945 que **John Presper Eckert** et **John Mauchly** terminent à l'université de Pennsylvanie la construction de l'**ENIAC** *(Electronic Numerical Integrator And Computer),* machine universelle, programmable, numérique, basée sur le système décimal et entièrement électronique. Avec ses 18 000 tubes et ses 30 tonnes, l'ENIAC pouvait multiplier deux nombres de 10 chiffres en 3 millisecondes ! C'était la fin des calculatrices électromécaniques dépassées par une technologie mille fois plus rapide.

L'ENIAC fonctionnait convenablement, traitant des millions de cartes perforées au cours de ses premiers essais. Mais l'inconvénient résidait dans la difficulté de modifier ses programmes. La mémoire interne était très petite et les programmes étaient câblés sur des fiches électriques interchangeables ; il n'était pas possible de les enregistrer sur un support extérieur. Pour passer d'un calcul à l'autre, il fallait brancher et débrancher des centaines de câbles (il sera même modifié en 1948 pour intégrer son programme

© Dunod. Toute reproduction non autorisée est un délit.

dans une mémoire non-modifiable). Pour cette raison l'ENIAC, bien qu'étant le premier calculateur électronique, n'est pas toujours considéré comme le premier ordinateur, selon le sens donné aujourd'hui à ce terme.

Avant la fin de 1945, **John von Neumann**, un mathématicien d'origine hongroise, associé comme consultant au projet ENIAC, franchit le dernier obstacle et proposa la construction de l'**EDVAC** *(Electronic Discrete Variable Automatic Computer),* machine modèle de l'ordinateur tel qu'on le conçoit à présent. Il accomplit une abstraction géniale du système de commande de la machine, en proposant d'enregistrer le programme en mémoire. La machine gagne ainsi en souplesse et en vitesse. Instructions et données sont stockées dans la mémoire même de la machine. Le programme peut décider quels calculs exécuter, quel chemin choisir pour la suite des opérations, sur la base des résultats intermédiaires. Le déroulement du programme peut être commandé par des décisions logiques, ce qui permet des sauts et des branchements conditionnels dans le programme. L'ordinateur est né.

On peut ainsi résumer les caractéristiques de l'ordinateur selon von Neumann :

- une machine **universelle** contrôlée par **programme** ;
- les instructions du programme sont codées sous forme numérique (binaire) et **enregistrées en mémoire** ;
- le programme peut modifier ses propres instructions, qui sont normalement **exécutées en séquence** ;
- des instructions existent permettant les **ruptures de séquence**.

Dans une communication qui fera date, von Neumann décrit en 1945 les cinq composants essentiels de ce qui allait désormais être appelé **l'architecture de von Neumann :**

- **l'unité arithmétique et logique (UAL) ;**
- **l'unité de commande ;**
- **la mémoire centrale ;**
- **l'unité d'entrée ;**
- **l'unité de sortie.**

Von Neumann fait aussi remarquer qu'un tel système, pour être vraiment efficace et performant, doit fonctionner électroniquement et selon la numération binaire. Les principes de von Neumann guideront la conception des ordinateurs jusqu'à nos jours.

De 1945 à 1950, on construit des prototypes partout, aux États-Unis comme en Europe. Paradoxalement, ce ne sera pas von Neumann qui réalisera, le premier, une machine selon ses principes. L'EDVAC prend du retard à cause de querelles entre les protagonistes de cette grande réalisation, notamment Eckert, Mauchly, Goldstine et von Neumann. Querelles de conception mais aussi querelles de brevets et de paternité de l'invention. Les premiers ordinateurs obéissants aux principes dictés par von Neumann seront achevés par des scientifiques britanniques, avec deux ans d'avance sur l'EDVAC. **Kilburn**, **Williams** et **Tootill** construiront le **SSEM** à Manchester tandis que **Maurice Wilkes,** à Cambridge, réalisera L'**EDSAC** (*Electronic Delay Storage Automatic*