

Chapitre 1

Histoire de l'informatique

L'informatique a transformé le monde dans lequel nous vivons, de plus en plus nous utilisons des appareils numériques dans notre vie quotidienne. Mais nous ignorons l'origine et les projets qui ont inspiré le développement de ces appareils, et le discours marketing qui les enrobe, fait pour attirer les consommateurs plus que les éduquer. Un objet numérique est un résultat de croisements entre plusieurs techniques, intérêts économiques, et aussi des visions sociales ou politiques. Par exemple le développement d'une carte à puce - qui contient des technologies différentes - a été motivé par le désir de sécuriser les transactions et par la volonté des banques de dématérialiser les paiements.

Von Neumann est le grand mathématicien qui a défini l'architecture des ordinateurs en 1945, puis il a fondé la théorie des automates. C'est pour cela qu'on dit des ordinateurs des "machines de Von Neumann". Ce chercheur a contribué à la transformation de notre vision du monde, en même temps que son ami Alan Turing.

Dans le but de rapprocher et simplifier les notions de l'informatique d'aujourd'hui, nous allons présenter celle d'hier tout en voyageons largement dans le temps.

1.1 L'antiquité du calcul

Depuis 20000 ans, l'homme a éprouvé le besoin de compter, des os d'animaux portant des encoches ont été retrouvés. Avec le passage au néolithique, des communautés humaines s'organisent et travaillent en faisant des échanges nécessitant une administration, ce fait a poussé l'homme à développer le calcul, la mesure et la géométrie afin de répondre à ses besoins pratiques.

Les plus anciennes traces de chiffres ont été trouvées au proche orient qui datent du IV millénaire avant J.-C. Les archéologues ont aussi trouvé des petits jetons de pierre ayant servi à compter remontant au VII millénaire avant J.-C. Toutefois les unités utilisées pour compter ou mesurer n'étaient pas normalisées comme aujourd'hui : un pas n'avait pas la même longueur à Babylone, ou à Athènes. Cette diversité continua jusqu'au XIX siècle où la diffusion du système numérique a rompu avec les anciennes unités.

Quelques dates marquantes :

- 4000 avant J.-C : Des jetons d'argile retrouvés sur des sites archéologiques ont été utilisés probablement pour numéroter et compter. Le système d'écriture cunéiforme sumérien utilisait le système sexagésimal (en base 60).

- 1000 avant J.-C : La tradition chinoise fait la rédaction du "Yi-Jing" ou "livre des change-



FIGURE 1.1 - Yi Jing



FIGURE 1.2 - Abaque Roman [3]

ments" dont les symboles étaient utilisés pour la divination. L'origine de ce livre est lié à l'invention des tri-grammes qui sont l'association de trois lignes, chacune pouvant être pleine (Yang) ou brisée (Yin). (Fig. 1.1)

- 500 avant J.-C : L'abaque est un simple support pour les jetons, il était l'un des premières aides au calcul et à la mémorisation des résultats apparaissent probablement au Proche-Orient et se répandent à d'autres continents (Fig. 1.2), ensuite vient la naissance du boulier qui est un dispositif complet pour calculer (Fig. 1.3).

- 330 avant J.C : Aristote a défini les premières règles de logique qui suffisent juste pour le raisonnement philosophique et juridique et n'est assez puissante pour être applicable en mathématiques.

- 300 avant J.-C : Les Babyloniens décrivaient les premiers algorithmes qui concernent la résolution des équations, ils étaient explicités sous forme d'exemples plutôt qu'une suite d'étapes.

- 2 avant J.-C : En 1901, à l'île grecque d'Anticythère, les restes d'un calculateur astronomique perfectionné ont été trouvés. Il modélise la course des astres, il indiquait la position du soleil et la lune. C'est le plus vieux mécanisme à engrenages connu et il est considéré comme le premier calculateur analogique (Fig. 1.4).

- 820 : Le mathématicien musulman Al-Khwarizmi explore dans ses ouvrages la résolution des équations polynomiales. C'est le début de l'algèbre et les premières tentatives de formalisation de l'algorithmique. En fait, le terme algorithme dérive de la forme latine de son nom. Ses travaux ont

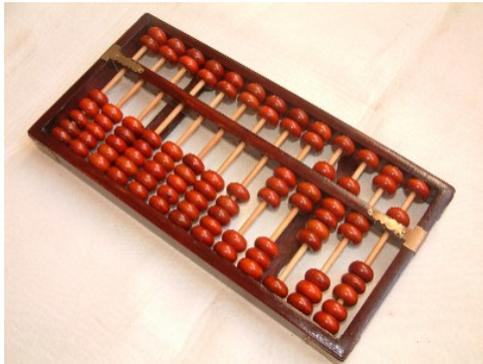


FIGURE 1.3 - *Boulier chinois* [2]



FIGURE 1.4 - *Mécanisme d'Anticythère* [4]

une grande influence et contribueront à introduire en Occident la numération décimale de position.

●1000 : La numérotation dite arabe a une origine indienne datant du IV^e siècle, Gerbert d'Aurillac promût cette numérotation et remplaçait les chiffres romains en utilisant son influence en tant que pape. Après quelques siècles les chiffres romains disparaissent au profit des nouveaux symboles incluant le zéro. L'un des plus actifs transmetteurs des mathématiques du monde musulman vers l'Europe était Leonardo Fibonacci, celui-ci encouragea les commerçants italiens à utiliser cette numérotation (indo-arabe).

● $XIII^e$: Des mécaniciens grecs ont réalisé des grandes horloges hydrauliques en métal qui peuvent indiquer la position des astres et des constellations. Mais ce n'est qu'au $XIII^e$ siècle que dans les villes européennes, le commerce et l'artisanat nécessitent une meilleure maîtrise du temps, ce qui a donné la naissance des premières horloges entièrement mécaniques.

1.2 Machines mécaniques

A partir de la Renaissance, la révolution scientifique et industrielle déclenchent l'augmentation de la demande en matière de calcul et traitement de l'information. Pour y répondre les inventeurs mobilisent les connaissances mathématiques et les techniques développées par les horlogers.

Quelques dates marquantes :

●1614 : John Neper, après avoir inventer les logarithmes, invente une aide au calcul sous forme de bâtonnets permettant d'effectuer des multiplications en utilisant une suite d'additions (Fig. 1.5).

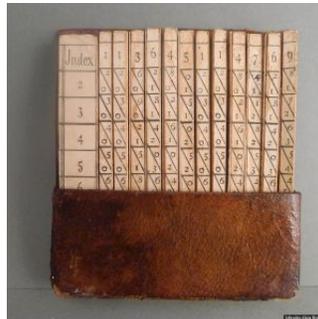


FIGURE 1.5 – Bâtonnets de Neper [5]

●1623 : Wilhelm Schickard essaya de construire la première machine à calculer numérique de l'histoire pour aider l'astronome Kepler. Cette machine permet d'additionner, soustraire des nombres à six chiffres, les multiplications étaient reportées en additions successives à l'aide de bâtonnets de Neper (Fig. 1.6).

●1630 : William Oughtred inventa la règle à calcul composée d'échelles graduées et coulissantes permettant d'effectuer les opérations arithmétiques classiques Elle effectue également des opérations plus complexes comme les racines carrées et cubiques, des calculs trigonométriques et logarithmiques. Cet instrument se caractérise par sa petite taille et la facilité de son utilisation. Après avoir été perfectionné, ce moyen sera le plus utilisé par les scientifiques jusqu'à 1970 (Fig. 1.7).

●1645 : Le dispositif qui sépare les simples instruments de calcul des machines est la Pascaline. Elle est inventée par Blaise Pascal, au début c'est pour aider son père collecteur de taxes. Cette



FIGURE 1.6 – *Machine à calculer de Schickard [6]*

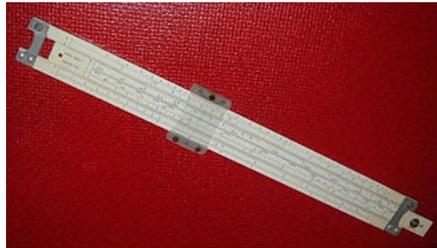


FIGURE 1.7 – *Machine à calcul de Oughtred [7]*

machine est capable de faire des additions et des soustractions des nombres de six chiffres. Elle est considérée comme la première machine à calculer ayant réellement fonctionné, et qui a été commercialisée (Fig. 1.8).



FIGURE 1.8 – *Pascaline [8]*

- 1694 : La première machine permettant la multiplication et la division est la machine de Leibniz, capable de multiplier des nombres de huit chiffres (Fig. 1.9)

- 1837 : Vient la machine analytique de Charles Babbage qui est considérée comme l'ancêtre des ordinateurs, elle est entièrement mécanique, elle a une mémoire, une unité arithmétique et logique et un lecteur de cartes (Fig. 1.10).

- 1838 : Samuel Morse développe le télégraphe aux États-Unis en utilisant un système d'électro-aimants et de relais. Son code est une suite de points, de traits et de silences pour transmettre l'alphabet. Le code Morse international est une version simplifié de ce code, il est utilisé jusqu'à nos jours.

- 1876 : Alexander Graham Bell dépose un brevet d'invention concernant la transmission de la voix à distance à l'aide de l'électricité, ce qui a donné la naissance du téléphone. Les technologies et les concepts développés dans les télécommunications seront à la base de la conception d'ordinateurs.



FIGURE 1.9 – *Machine de Leibniz* [9]

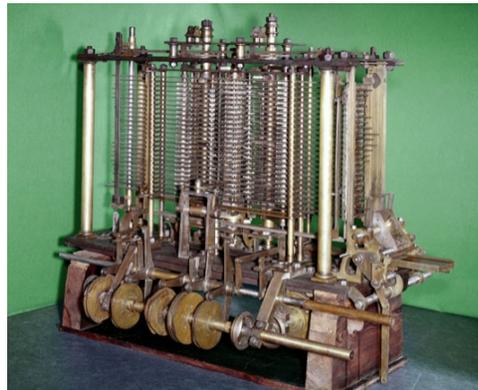


FIGURE 1.10 – *Machine analytique de Babbage* [10]

1.3 Le début du XX^e siècle

La révolution de l'électricité, de la chimie, des moteurs à pétrole - la deuxième révolution industrielle - produit de nouveaux besoins de calcul et de traitement d'informations. Les guerres intensifient ces tendances (construire les armes et les bombes) et le retour à l'économie de paix pousse encore à mécaniser le travail (des milliers de morts après les guerres).

Quelques dates marquantes :

- 1904 : L'invention de la diode et triode était le début de l'électronique qui va permettre le développement de la radio et du radar. On peut dire que c'est l'équivalent à un cliquet sur une roue dentée en mécanique. Pourtant, cette technologie n'aura aucune application informatique qu'après les années 1940.

- 1920 : À la fin du XIX^e siècle, les bureaux et les banques sont remplis d'employés utilisant des calculatrices mécaniques ou les machines à écrire. Les constructeurs des avions, des bateaux ou d'appareils d'optique et les observatoires astronomiques organisent eux aussi des bureaux de calcul contenant des dizaines de personnes effectuant des travaux lourds en arithmétique. Ils utilisent des machines numériques de table, les règles à calcul et d'autres instruments. On les désigne par le terme anglais ... computers !

- 1937 : Dans un article fondateur de l'algorithmique, Alan Turing décrit une machine conceptuelle capable d'exécuter une suite d'opérations selon un programme préétabli pour résoudre un problème. Il y a des concepts logiciels (liste d'instructions, table des états) et matériels (unité centrale, bande de papier, dispositif de lecture/écriture). Même si la machine de Turing n'est qu'un concept, il est considéré comme le père de l'informatique théorique. Son oeuvre a permis de formaliser et développer la théorie qui fonde l'étude des algorithmes et de ce qu'un ordinateur peut faire. Turing a aussi contribué à introduire l'approche mathématique en cryptanalyse.

●1938 : Le premier scientifique qui a rapproché l’algèbre de binaire et les circuits électriques est le mathématicien Claude Shannon. En 1948 Shannon publie un article qui fonde la théorie de l’information qui permet d’analyser la quantité d’information contenue dans un ensemble de messages. Alors Shannon y adopte comme unité de mesure le bit.

●1948 : La Curta est le dernier très bien vendu des machines à calculer mécaniques, elle a été inventé par Curt Herzstark. C’est une machine d’intelligence et de précision. Elle est considérée comme la meilleur machine à calculer manuelle jusqu’à l’arrivée des calculettes électroniques de poche et par suite sa fabrication s’est arrêtée en 1972 (Fig. 1.11).



FIGURE 1.11 – *La Curta* [11]

1.4 Les premiers ordinateurs

On peut se demander qui a inventé l’ordinateur ? Puisque c’est un objet complexe et dont plusieurs disciplines ont contribué à sa création, cette question n’a pas de sens. Une série de mariages de concepts et de technologies, de combinaisons intelligentes effectuées sous la pression de la guerre donnent naissance à l’ordinateur.

Quelques dates marquantes :

●1940 : Le professeur de physique John Atanasoff construit un calculateur binaire avec l’aide de l’étudiant Clifford Berry, nommé calculateur ABC (Atanasoff Berry Computer). C’est une machine à base de tubes électroniques et contient des circuits logiques, et une mémoire à base de condensateurs. Mais elle ne peut que résoudre des systèmes d’équations linéaires et n’est pas programmable (Fig. 1.12).



FIGURE 1.12 – *ABC* [12]

●1940 : L'ingénieur Konrad Zuse imagine un ordinateur binaire qui pourra effectuer ses longs calculs répétitifs. Alors il construit un premier modèle mécanique Z1 qui fonctionne mal et par suite il conçoit un deuxième avec des relais de téléphone Z2. Après avoir trouver un financement, il développe un modèle plus ambitieux, le Z3, mais qui est sous le secret militaire. Le Z3 pèse une tonne, consomme plus de 4kW, sa mémoire de travail contient 64 mots de 22 bits, et sa cadence est 5.3Hertz. Après vient le Z4, une amélioration de Z3 (Fig. 1.13).



FIGURE 1.13 - Z4 [13]

●1944 : IBM et l'université de Harvard construisent pour la marine américaine le Harvard Mark I, c'est un gigantesque ordinateur décimal, Il est utilisé pour des recherches militaires à la fin de la guerre, c'est le plus gros ordinateur électronique / mécanique jamais assemblé. IBM ensuite en 1948 construit le SSEC 250 fois plus rapide que le Mark I. Ces deux machines permettent un apprentissage de techniques de programmation (Fig. 1.14).



FIGURE 1.14 - Mark I [14]

●1945 : John W. Mauchly et Presper Eckert dirigent la construction de l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) à la Moore School of Electrical Engineering. Ce ordinateur pèse 30 tonnes et mesure 24 mètres de long, 5 de haut, 4 de large. La programmation se fait par câblage, avec des fichiers et des connecteurs à brancher pour chaque nouveau traitement (Fig. 1.15).

●1945 : L'un des esprits les plus brillants, le mathématicien John Von Neumann, participe aux réunions pour réfléchir aux améliorations possibles qu'on peut faire à l'ENIAC et la définition d'un

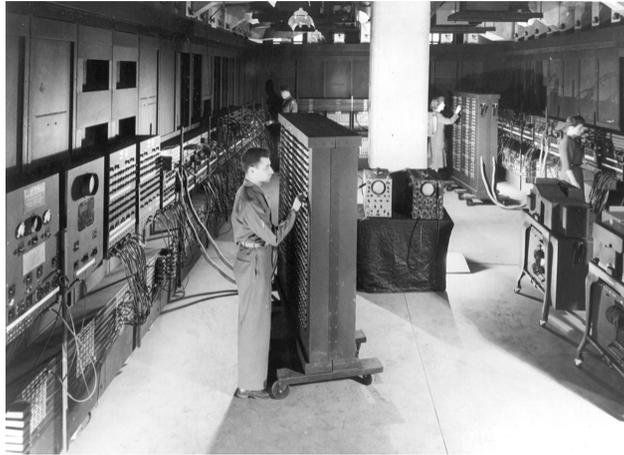


FIGURE 1.15 – ENIAC [15]

nouveau projet l'EDVAC. Von Neumann reprend les idées déjà exprimées par Eckert et Mauchly et les rapproche du concept de machine universelle évoquée par Alan Turing. Dans un document connu par le nom du "rapport de Von Neumann", il décrit une machine entièrement nouvelle par sa conception fondamentale (Processeur, mémoire, dispositif d'entrée/sorties).

1.5 L'ère des gros systèmes

Vu le potentiel des ordinateurs développés par les universitaires, à partir de 1950, des entreprises prennent le risque d'en réaliser des versions commerciales. En fait, il faut transformer des machines de laboratoire, destiné au calcul scientifique, en produits fiables et utilisables par des clients ayant des compétences et des besoins variés.

Trois types d'entreprises se lancent dans cette aventure, chacune avec ses chances de réussir et ses défauts. Le premier type est les start-ups fondées par des ingénieurs pour construire des calculateurs électroniques (le 1^{er} est *Univac*). Le deuxième type est les constructeurs mécanographiques, comme IBM, Et le troisième type est les grands groupes de construction électrique comme Siemens.

Les rôles dans l'innovation se répartissent alors comme suit :

- le développement des technologies matérielles, est assumé par l'industrie des composants et des ordinateurs.
- l'invention des nouvelles façons d'utiliser l'ordinateur et de communiquer avec attire l'attention la recherche académique.

Quelques dates marquantes :

●1951 :

- Ferranti Mk1 : c'est le premier ordinateur commercialisé de l'histoire, il est développé à l'université de Manchester en collaboration avec le grand constructeur de matériels électriques, Ferranti.
- UNIVAC1 : est créé par la compagnie de Eckert et Mauchly. Il comporte 5200 tubes et utilise des lignes à retard comme mémoire rapide, des mandes magnétiques comme mémoire de stockage. Son prix est supérieur à un million de dollars.
- Whirlwind : c'est le premier ordinateur qui fonctionne en temps-réel, il est issu d'un projet de simulateur analogique d'avion, il devient le prototype d'un ordinateur relié à des stations radars pour alerter la défense américaine lors d'une attaque aérienne russe.

●1952 : IBM 701 : IBM domine déjà le marché avec ses calculatrices électroniques à programmation externe. Elle recrute Von Neumann comme consultant, en outre, elle saisit bien l'occasion du déclenchement de la guerre froide pour mettre sa puissance au service militaire américain. Alors, IBM 701 était son premier ordinateur et en même temps, elle prépare des ordinateurs plus petits destinés au marché habituel.

●1954 : Le russe Andreï A. Markov, mathématicien, physicien, et chimiste s'est orienté vers la logique et les fondements des mathématiques après la seconde guerre mondiale. Il publie un ouvrage magistral en 1954, "Theoria algorifmov", qui fait de lui l'un des fondateurs de l'informatique théorique (théorie des langages formels et des compilateurs).

●1955 : Une équipe de l'université de Manchester s'est lancée dès 1952 dans l'étude d'un petit ordinateur à transistors, opérationnel en novembre 1953 : c'est le premier ordinateur équipé de transistors dans l'histoire. Une version plus puissante entre en service en 1955 (200 transistors), 150 watts, cadencée à 125kHz).

●1956 : Von Neumann présente la machine de Alan Turing comme le modèle général des automates universels, qui sont capables de reproduire le fonctionnement de tout automate particulier si on lui en fournit la description formelle. Ceci contribue de façon décisive à fonder la future science informatique.

●1962 : Naissance du terme informatique, le terme qui est inventé en 1962 en fusionnant les deux termes "information" et "automatique" pour désigner les activités liées à l'ordinateur.

●1964 : en 1960 Seymour Cray (chez Control Data Corporation) décide de construire l'ordinateur le plus rapide du monde. En 1964, ses ingénieurs présentent le CDC 6600 dont les performances 1 et 10 mégaflops, une centaine d'exemplaires à huit millions de dollars pièce seront vendus. Il est surnommé le "père des superordinateurs".

1.6 Les mini-ordinateurs

- IBM domine le marché avec sa qualité technique, son efficacité commerciale et son prestige.
- La tendance est pour les mini-ordinateurs. En fait, depuis les années cinquante, la possibilité de réaliser de petits ordinateurs est apparue avec la mise au point de composants de taille réduite permettant de concilier une bonne fiabilité avec la compression des prix de revient.
- Au cours des années soixante, la transformation de l'industrie des composants suscite une baisse des prix et un progrès rapide des circuits intégrés.
- Dès la fin des années soixante, les mini-ordinateurs sont couramment employés, 6700 minis fonctionnent dans le monde fin 1968, 19000 fin 1969.

Date	Composants logiques	Mémoire interne	Mémoire externe	Programmation
1950	Tubes	Expérimentations	Cartes ou bandes perforées puis bandes magnétiques	Code binaire, assembleurs
1959	Transistors	Tores de ferrite	Cartes, tambours	Premiers langages évolués
1966	Circuits intégrés ou hybrides	Tores de ferrite et disques rapides	Cartes, bandes, disques	Langages évolués
1973	Microprocesseur	Semi-conducteurs	Bandes disques, disquettes, cartouches	Langues évolués et communication graphique

Quelques dates marquantes :

●1965 : Avec l'amélioration des procédés de fabrication des circuits, il est devenu possible de placer plusieurs centaines de composants élémentaires par centimètre carré. Pendant un interview par un magazine d'électronique sur le futur des semi-conducteurs, Gordon Moore (directeur de la recherche chez Fairchild Semiconductor) prévoit un doublement annuel de la densité d'intégration des composants sur un circuit intégré. Cette loi (Fig. 1.16) devient rapidement un but, une roadmap pour l'industrie électronique américaine. En 1975, Moore amende légèrement sa "loi" en prévoyant désormais un doublement tous les deux ans. En 1968, Gordon Moore, Robert Noyce et Andrew Grove quittent Fairchild Semiconductor pour cofonder la société Intel qui devient le leader mondial des fabricants de semi-conducteurs en 1992.

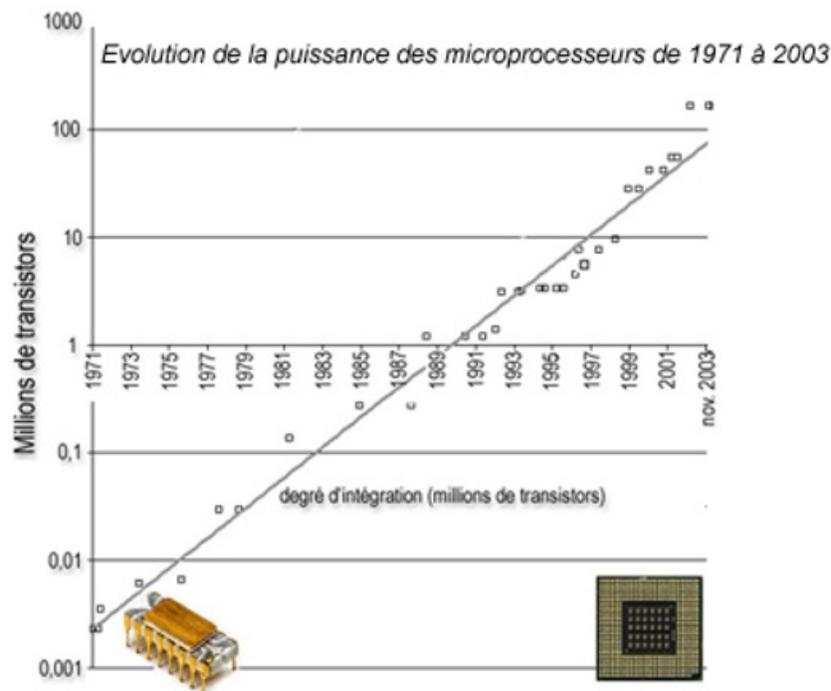


FIGURE 1.16 – Évolution du nombre des transistors dans un microprocesseur

●1971 : En 1970, Busicom (une société japonaise) demande à Intel de développer plusieurs

circuits intégrés pour sa prochaine calculatrice de bureau. Après avoir étudié le projet, les ingénieurs Ted Hoff et Stan Mazor proposent de remplacer la demi-douzaine de circuits spécifiques envisagés par Busicon par un processeur tenant sur une seule puce. Federico Faggin dirigea le projet et réalisa le microprocesseur 4004 (1.17, celui-ci va entraîner une chute des coûts, une plus grande puissance et une meilleure fiabilité. Il comprend 2300 transistors dans 10mm², il peut additionner deux nombres de 4 bits en 10 μ s.

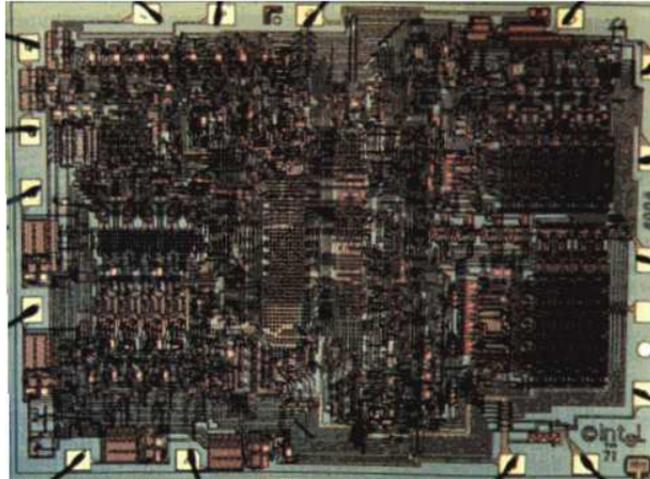


FIGURE 1.17 – Microprocesseur 4004

- 1971 : Le nom de Silicon Valley est utilisé par un journaliste local, Don Hoefler, pour décrire la concentration d'entreprises de haute technologie et de semi-conducteurs implantées au sud de San Francisco. Ce groupement est proche au milieu universitaire de Stanford.

- 1974 : Après le 4004 et le 8008, Intel lance le microprocesseur 8080 qui contient environ 6000 transistors. Il fonctionne à 2MHz et il est assez puissant pour piloter un micro-ordinateur. Il servira à construire la plupart des premiers micro-ordinateurs, et sera à l'origine de toute la famille des processeurs Intel.

1.7 La micro-informatique

Les micro-ordinateurs résultent de la rencontre entre une multitude de courants. C'est un fruit de la dynamique de l'intégration d'Intel et ses concurrents, de la commande d'un fabricant de caletttes et de l'anticipation par les ingénieurs d'Intel d'un marché plus large. De plus, les micro-ordinateurs résultent d'un désir de réaliser de très petits ordinateurs peu coûteux. L'existence préalable d'objets, de cultures et de pratiques ont familiarisé des centaines de milliers d'utilisateurs à un usage personnel de l'ordinateur.

Quelques dates marquantes :

- 1971 : Le Kenbak-1 est réalisé par John Blankenbaker, il est considéré comme le premier ordinateur personnel. Cette ordinateur n'a pas de microprocesseur. Il s'en vendit 40 exemplaires (à 4000 euros de 2015) principalement à des établissements d'enseignement.

- 1975 : Commercialisé en 1972, l'Intel 8008 était le premier circuit intégrant sur une seule "puce" les éléments d'un processeur central d'ordinateur, capable de traiter les mots de 8 bits. D'autres concurrents apparaissent rapidement (Motorola 6800, Zilog Z80) et Intel réagit vite en lançant un successeur compatible, le 8080. Cette diversité d'offres suscite, en 1975, une série de réalisations de



FIGURE 1.18 – *Kenbak-1*

micro-ordinateurs à travers le monde. Les premiers microprocesseurs ont été utilisés aussi pour les contrôleurs de périphériques, d'appareils de laboratoires ou de matériels médicaux, automatismes industriels.

- 1975 : Paul Allen et Bill Gates écrivent en deux mois un interpréteur BASIC et en proposent la distribution à MITS (société d'électronique). C'est le début de Micro-Soft (Microsoft) qui propose des logiciels les années suivantes, elle reste une petite entreprise jusqu'à ce qu'IBM la choisisse pour réaliser le système d'exploitation de l'IBM PC.

- 1976 : Federico Faggin, un des créateurs du microprocesseur 4004, quitte Intel et fonde Zilog en 1974. Deux ans plus tard, cette société lance l'arrivée du microprocesseur Z80, compatible avec le 8080 mais incluant de nombreuses améliorations (ce microprocesseur existe encore aujourd'hui dans certains systèmes embarqué).

- 1977 : Steve Jobs pour la partie commerciale, et Steve Wozniak pour la partie technique, fondent la compagnie Apple en 1976 et commercialisent leur premier modèle le Apple I. En 1977, ils sortent un micro-ordinateur entièrement intégré qui aura un succès mondial, l'Apple II (Fig. 1.19).

- 1978 : L'augmentation du nombre de transistors implantables sur une puce permet aux fabricants de proposer de nouveaux microprocesseurs 16 bits. Les trois grands noms de l'industrie proposent : le 68000 (Motorola), le Z8000 (Zilog), le 8086 (Intel), ces microprocesseurs tournent à environ 10 MHz.

- 1984 : Une première station de travail incluant une interface graphique commandée par souris, l'Alto, a été construite par Douglas Engelbart en 1973 dans les laboratoires de Xero. Cette machine a servi d'outil de travail dans l'entreprise et dans quelques laboratoires universitaires. Présentée à Steve Jobs en visite chez Xerox en 1979, celui-ci devient émerveillé par cette machine et décide de l'intégrer aux futurs produits d'Apple qui lance en 1984 le Macintosh (Fig. ??).

- 1991 : Linus Torvalds, étudiant norvégien, décide d'écrire un mini-système d'exploitation dérivé d'Unix pour son PC.



FIGURE 1.19 - *Apple II*



FIGURE 1.20 - *Macintosh*

Bibliographie

- [1] Histoire illustrée de l'informatique, Emmanuel Lazard et Pierre Mounier-Kuhn, Edition 2016.
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Boulier>
- [3] <http://www.archeologiesenchantier.ens.fr/spip.php?article38>
- [4] https://www.wikiwand.com/fr/Machine_d%27Anticyth%C3%A8re
- [5] <https://dupasquier.ch/2017/05/20/informatique-histoire-1640-logarithmes-et-batonnets/neper-batonnet-machine-informatique/>
- [6] https://fr.vikidia.org/wiki/Wilhelm_Schickard
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gle_%C3%A0_calcul
- [8] https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg
- [9] <https://www.hannover.de/en/Tourism-Culture/Event-Highlights/Specials/Year-of-Leibniz-2016/Leibniz-Calculating-Machine>
- [10] <https://journals.openedition.org/bibnum/542>
- [11] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Curta>
- [12] <http://jva.cs.iastate.edu/operation.php>
- [13] https://fr.wikipedia.org/wiki/Zuse_4
- [14] <https://www.britannica.com/technology/Harvard-Mark-I>
- [15] <https://thenewstack.io/reading-the-manual-for-eniac-the-worlds-first-electronic-computer/>