



# HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

Du calcul mécanique  
à l'intelligence artificielle

Sébastien Inion

ellipses

# **HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE**

**Du calcul mécanique  
à l'intelligence artificielle**

**Sébastien Inion**  
Enseignant en informatique  
en lycée et à l'IUT de Carcassonne



**Conception graphique couverture :** Nathalie FOULLOY

**ISBN 9782340-108448**

**Dépôt légal : octobre 2025**

**©Ellipses Édition Marketing S.A.**

**8/10 rue la Quintinie 75015 Paris**

Le Code de la propriété intellectuelle et artistique n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.



## AVANT-PROPOS

Écrire une histoire de l'informatique est une entreprise à la fois passionnante et redoutable tant le sujet est vaste et parfois insaisissable. Ce que l'on pourrait croire figée, évolue encore à la lumière de nouvelles découvertes d'archives ou d'interprétations renouvelées.

Ce livre ne prétend donc pas à l'exhaustivité. Il reflète une vision personnelle, façonnée par mes lectures, mes enseignements, mes rencontres et ma curiosité.

J'ai fait le choix de ne pas suivre une progression strictement chronologique. Au lieu d'un récit linéaire, j'ai préféré une approche thématique, où les grands domaines de l'informatique — machines, langages, usages, réseaux, etc. — sont explorés selon leurs dynamiques propres. Il en résulte parfois des recoupements, voire des répétitions : qu'on veuille bien les lire comme des échos ou des ponts entre les champs abordés.

Les controverses comme celle du « premier ordinateur » ou du « premier micro-ordinateur » sont souvent traversées de passions, de récits concurrents, de mémoires sélectives. L'histoire de l'informatique ne suit pas toujours un fil bien ordonné : elle est faite de tâtonnements, d'idées dans l'air, d'avancées simultanées. Plutôt que de chercher à tout classer ou figer, j'ai tenté de restituer cette complexité sans la simplifier à outrance.

Je tiens à remercier ici mes proches et mes amis pour leur patience, leur bienveillance et leurs encouragements. Ce livre m'a demandé du temps, de l'énergie, parfois même un peu de solitude, de silence et de pensée. J'espère qu'il saura transmettre quelques clés, éveiller la curiosité, offrir du plaisir de lecture, et peut-être même, chez certains, un brin de nostalgie.

Carcassonne, avril 2025



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Introduction générale à l'informatique</b>	<b>1</b>
1.1	Définition de l'informatique et son importance . . . . .	2
1.2	L'informatique comme science et technologie . . . . .	3
1.3	Importance de l'informatique . . . . .	4
1.4	Présentation des thèmes abordés . . . . .	5
<b>2</b>	<b>La préhistoire de l'informatique</b>	<b>7</b>
2.1	La représentation de l'information . . . . .	8
2.2	L'histoire du calcul . . . . .	13
2.3	Découvertes clés à l'origine de l'informatique . . . . .	19
2.4	Des premières « machines » à l'ordinateur . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Quelques pionniers</b>	<b>33</b>
3.1	Charles Babbage : une machine analytique . . . . .	34
3.2	Ada Lovelace, première programmeuse . . . . .	36
3.3	Alan Turing et la théorie de la calculabilité . . . . .	37
3.4	John von Neumann : l'architecte de l'ordinateur moderne .	40
3.5	Claude Shannon et la théorie de l'information . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Les Inventions Fondatrices de l'Informatique</b>	<b>47</b>
4.1	Lampe à vide . . . . .	48
4.2	Le transistor . . . . .	49
4.3	Le circuit imprimé . . . . .	52
4.4	Le circuit intégré . . . . .	53
4.5	Les transistors CMOS . . . . .	54
4.6	Le microprocesseur . . . . .	56

4.7 Le laser . . . . .	60
4.8 La carte à puce . . . . .	61
<b>5 L'évolution du matériel informatique</b>	<b>65</b>
5.1 Des calculateurs aux ordinateurs modernes . . . . .	66
5.2 Les ordinateurs européens des années 1950 . . . . .	101
5.3 La première génération : les Tubes à vide . . . . .	102
5.4 La deuxième génération : les transistors . . . . .	105
5.5 La troisième génération : les circuits intégrés . . . . .	107
5.6 La quatrième génération : le microprocesseur . . . . .	110
5.7 La cinquième génération : IA et architecture parallèle . . . . .	116
5.8 La sixième génération : multi-cœurs et cloud computing . . . . .	119
5.9 L'Apple II prêt à l'usage . . . . .	121
5.10 La micro-informatique . . . . .	123
5.11 Les compatibles PC . . . . .	136
5.12 Les smartphones . . . . .	137
5.13 Le cloud computing . . . . .	137
<b>6 L'évolution de l'interface Homme-Machine</b>	<b>139</b>
6.1 Interface Homme-Machine . . . . .	140
6.2 Le crayon optique . . . . .	140
6.3 La souris . . . . .	141
6.4 L'interface graphique . . . . .	141
6.5 La reconnaissance de l'écriture humaine . . . . .	142
6.6 L'écran tactile . . . . .	144
6.7 Reconnaissance et synthèse de la parole . . . . .	145
6.8 Le casque de réalité virtuelle . . . . .	146
6.9 Langages de programmation . . . . .	147
6.10 Introduction aux mémoires informatiques . . . . .	150
6.11 Les premiers systèmes de stockage . . . . .	150
6.12 Les supports magnétiques . . . . .	153
6.13 Les mémoires internes des ordinateurs . . . . .	156
6.14 Les supports optiques . . . . .	158
6.15 Les mémoires flash et modernes . . . . .	159
6.16 IBM et les SGBD . . . . .	161
<b>7 Les langages de programmation</b>	<b>163</b>
7.1 Les premiers langages : Assembleur, Fortran . . . . .	164
7.2 La recherche d'une standardisation : Cobol . . . . .	167
7.3 Le BASIC et la programmation accessible . . . . .	169
7.4 La programmation structurée : Pascal, C . . . . .	171

7.5	Vers une nouvelle Approche : La POO . . . . .	174
7.6	Premiers langages pour l'IA . . . . .	180
7.7	Les langages modernes et la programmation d'aujourd'hui . . . . .	182
<b>8</b>	<b>Les systèmes d'exploitation</b>	<b>187</b>
8.1	Qu'est-ce qu'un système d'exploitation ? . . . . .	188
8.2	Les premiers systèmes d'exploitation . . . . .	189
8.3	L'avènement des OS . . . . .	190
8.4	Les système graphiques (1990-2000) . . . . .	193
8.5	La diversité des OS . . . . .	196
<b>9</b>	<b>Les premiers logiciels professionnels</b>	<b>201</b>
9.1	dBase et la gestion des bases de données . . . . .	202
9.2	WordStar . . . . .	202
9.3	VisiCalc le premier tableur ! . . . . .	202
9.4	WordPerfect . . . . .	202
9.5	dBase II . . . . .	203
9.6	Multiplan . . . . .	203
9.7	AutoCAD . . . . .	203
9.8	Lotus 1-2-3 . . . . .	204
9.9	Microsoft Excel . . . . .	204
9.10	Microsoft Word . . . . .	204
<b>10</b>	<b>Les géants de l'informatique</b>	<b>205</b>
10.1	IBM . . . . .	206
10.2	Hewlett-Packard . . . . .	209
10.3	L'histoire de la Silicon Valley . . . . .	210
10.4	Xerox et le rendez vous manqué! . . . . .	212
10.5	Intel . . . . .	214
10.6	Microsoft . . . . .	215
10.7	Apple . . . . .	218
10.8	Bull, Google, Facebook . . . . .	221
<b>11</b>	<b>L'informatique et la société</b>	<b>223</b>
11.1	les enjeux militaires . . . . .	224
11.2	L'informatique dans la société civile . . . . .	227
11.3	La révolution d'Internet et l'économie numérique (1980-2000) . . . . .	236
11.4	Internet au 21 <sup>e</sup> siècle . . . . .	238

<b>12 L'évolution de la communication</b>	<b>241</b>
12.1 L'imprimerie . . . . .	242
12.2 Le télégraphe . . . . .	243
12.3 Le téléphone . . . . .	244
12.4 La télévision . . . . .	245
12.5 L'imprimante . . . . .	247
12.6 Le réseau SAGE . . . . .	249
12.7 ARPANET . . . . .	250
12.8 Internet . . . . .	251
12.9 1971 : le courrier électronique . . . . .	251
12.10 La reconnaissance vocale . . . . .	252
12.11 Explosion du Web, services en ligne et réseaux sociaux. . . . .	253
<b>13 Conclusion et perspectives futures</b>	<b>255</b>
13.1 L'I.A. . . . .	256
13.2 Ordinateurs quantiques et biologiques. . . . .	259
13.3 Défis éthiques et environnementaux. . . . .	260
13.4 Informatique et éducation. . . . .	262
<b>14 Chronologie des événements clés</b>	<b>267</b>
<b>15 Biographies des figures majeures</b>	<b>275</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>285</b>
<b>Index</b>	<b>287</b>

# CHAPITRE 1

## INTRODUCTION GÉNÉRALE À L'INFORMATIQUE

*L'informatique est bien plus qu'une simple discipline technique : elle est au cœur de nombreuses innovations et de notre quotidien. Ce chapitre propose d'explorer cette science en commençant par définir précisément ce qu'est l'informatique et en soulignant son importance croissante. Cette introduction nous permettra d'examiner comment l'informatique se positionne à la fois comme une science théorique et une technologie appliquée. L'impact de l'informatique dans la société moderne sera également mis en lumière, avant de terminer par une présentation des principaux thèmes qui seront développés dans cet ouvrage.*

## 1.1 Définition de l'informatique et son importance

L'informatique peut être appréhendée de diverses manières, en fonction du contexte dans lequel elle est utilisée ou de l'approche que l'on adopte pour la définir. Pour en cerner les contours, il est essentiel de remonter à l'origine même du terme *informatique* afin de mieux en comprendre les fondements.

Ce mot a été créé dans les années 1960 par l'ingénieur français *Philippe Dreyfus* pour désigner le traitement *automatique* de l'*information* par des machines.<sup>1</sup>

Le désir d'automatisation des tâches remonte toutefois à bien plus loin : dès l'Antiquité, des dispositifs comme les *clepsydres* (horloges à eau) ont été inventés pour mesurer le temps de manière autonome. Au fil des siècles, l'homme n'a cessé de concevoir des machines de plus en plus sophistiquées pour accomplir des tâches répétitives ou complexes, qu'il préfère déléguer.

L'information, pilier central de l'informatique, se distingue par son double aspect : le sens et la forme. Elle permet, par exemple, de traduire un phénomène naturel, comme la température d'une pièce, en une donnée exploitable. Le sens correspond à l'interprétation de cette donnée, permettant de déterminer si la pièce est trop chaude, trop froide ou confortable. La forme désigne sa représentation : elle peut être numérique (comme 23, avec une unité telle que Celsius) ou symbolique (un indicateur de couleur, par exemple : bleu pour le froid, rouge pour la chaleur).

Un élément encodé sous forme de symboles peut être traité indépendamment de son sens, ce qui le rend exploitable par des systèmes automatiques s'appuyant sur des concepts formels issus des mathématiques, comme l'algèbre de Boole et la logique propositionnelle.

Pour mesurer la température, un outil est nécessaire, tel qu'un thermomètre. Pour suivre l'évolution de cette température, il est également indispensable de mémoriser les valeurs successives dans le temps.

Ainsi, l'informatique peut être définie comme la science du traitement automatique de l'information par des machines. Elle regroupe l'ensemble des techniques, des concepts et des outils permettant de stocker, traiter, transmettre et représenter les données de manière automatisée, via des systèmes numériques comme les ordinateurs, les réseaux ou les dispositifs intelligents.

Aujourd'hui, l'informatique est omniprésente dans tous les secteurs d'activité, qu'il s'agisse de la santé, de l'éducation, de l'industrie, de la recherche scientifique ou encore des médias. Elle facilite la résolution de problèmes

---

1. Philippe Dreyfus est considéré comme l'un des pionniers de l'informatique en France.

complexes, l'automatisation des tâches répétitives et favorise la communication et l'échange d'informations à l'échelle mondiale.

L'essor de l'intelligence artificielle et de l'Internet des objets<sup>2</sup> montre que l'informatique dépasse aujourd'hui les ordinateurs traditionnels pour s'intégrer dans les objets du quotidien et les grandes infrastructures.

Ainsi, l'informatique ne cesse de repousser les frontières de l'innovation, en s'inscrivant toujours plus profondément dans le tissu de nos sociétés modernes.

## 1.2 L'informatique comme science et technologie

À travers l'exemple précédent de la mesure de la chaleur, nous avons vu qu'il nous fallait un outil : le thermomètre. Mais pour que cet outil voit le jour il a fallu des découvertes fondamentales en sciences. L'informatique est ainsi à la confluence de la **science** et de la **technologie**. Nous allons expliquer brièvement ces termes souvent employés mais mal compris.

### Qu'est-ce qu'une science ?

La **science** est l'ensemble des connaissances acquises par l'étude, l'observation, et l'expérimentation, visant à comprendre le fonctionnement de la nature. Elle repose sur des méthodes rigoureuses pour découvrir des lois, des théories et des principes expliquant les mécanismes du monde.

En tant que science, l'informatique se concentre sur l'étude des modèles de calcul, des algorithmes et des structures de données. Elle explore des questions théoriques comme : quelles sont les limites du calcul ? Quels problèmes peuvent être résolus par des machines, et dans quelles conditions ? Ces questions sont abordées à travers des domaines comme la *complexité algorithmique*, la *logique mathématique*, la *théorie des automates*, et la *calculabilité*.

### Qu'est-ce qu'une technologie ?

La **technologie** est l'application pratique des connaissances scientifiques pour créer des outils, des machines, et des techniques permettant de résoudre des problèmes concrets et d'améliorer la vie quotidienne. Elle transforme les découvertes scientifiques en innovations utiles et fonctionnelles.

---

2. L'Internet des Objets (IoT – Internet of Things) désigne l'ensemble des objets connectés capables de collecter, échanger et traiter des données de manière autonome.

En tant que technologie, l'informatique regroupe des matériels (hardware) et des logiciels (software) pour traiter les données et résoudre des problèmes de façon automatisée. Les ordinateurs, les réseaux, les systèmes embarqués, et les smartphones sont des exemples de technologies informatiques qui exécutent des algorithmes pour répondre à des besoins variés dans des domaines comme la santé, l'industrie, et les transports.

Les avancées technologiques récentes, telles que l'intelligence artificielle, les réseaux neuronaux et l'informatique quantique, montrent comment les découvertes scientifiques se traduisent en innovations concrètes. Ces technologies permettent de résoudre des problèmes complexes, de manipuler de grandes quantités de données et de fournir des solutions adaptées à des besoins spécifiques.

## La convergence entre science et technologie

L'informatique est un exemple frappant de la manière dont la science et la technologie convergent. D'une part, les avancées théoriques en calculabilité et en algorithmique permettent de créer des technologies toujours plus performantes. D'autre part, les nouvelles technologies, comme les ordinateurs quantiques ou les réseaux neuronaux, ouvrent la voie à de nouveaux champs d'exploration scientifique, permettant de résoudre des problèmes jugés jusqu'ici inaccessibles.

### 1.3 Importance de l'informatique

L'informatique a permis d'automatiser de nombreuses tâches, augmentant la productivité dans divers secteurs tels que l'industrie, la gestion des données et les services. Cette automatisation permet d'effectuer des actions complexes avec rapidité et précision, tout en réduisant les erreurs humaines.

La révolution des communications est également l'une des contributions majeures de l'informatique. En effet la communication à distance est finalement apparue tard dans l'histoire de l'humanité. Grâce à *Internet* et aux réseaux, les échanges d'informations sont instantanés, connectant des milliards de personnes à travers le monde. Les réseaux sociaux, le télétravail et les services de communication numérique ont profondément transformé la manière dont nous interagissons, travaillons et consommons des informations.

Dans le domaine de la santé, l'informatique a permis des avancées cruciales, notamment grâce aux systèmes de gestion de dossiers médicaux, à la télémédecine et à l'intelligence artificielle, qui améliore le diagnostic médical. L'accès à l'éducation a également été révolutionné grâce aux pla-

teformes d'apprentissage en ligne, rendant les connaissances accessibles à un public plus large.

L'informatique est devenue un acteur majeur de l'innovation et de la croissance économique, favorisant le développement de nouvelles technologies comme l'intelligence artificielle, l'Internet des objets, et les villes intelligentes. Elle est désormais incontournable dans presque tous les secteurs, façonnant l'avenir de la société moderne de manière profonde et continue.

## 1.4 Présentation des thèmes abordés

Pour mieux appréhender l'importance de l'informatique, nous explorerons dans cet ouvrage ses origines, son évolution et son impact sur la société contemporaine. Ce livre propose un voyage passionnant à travers l'histoire de l'informatique, en explorant ses origines, ses évolutions, et ses répercussions sur la société moderne. Nous commencerons par les premières tentatives de formalisation du calcul avec des figures emblématiques comme *Charles Babbage* et *Ada Lovelace*, qui ont posé les bases des machines à calculer. Ensuite, nous examinerons l'avènement des premiers ordinateurs au milieu du xx<sup>e</sup> siècle, comme le *Colossus* et l'*ENIAC*, ainsi que les contributions d'*Alan Turing* à la théorie de l'informatique.

L'évolution du matériel sera un fil conducteur, depuis les premiers ordinateurs encombrants jusqu'aux micro-ordinateurs, en passant par les transformations majeures qu'ont apportées les transistors et les circuits intégrés. Nous explorerons aussi le développement des *langages de programmation*, du *FORTRAN* à *Python*, en montrant comment ils ont permis aux développeurs de mieux exprimer leurs idées et d'automatiser des tâches toujours plus complexes.

Les grands acteurs de l'informatique ne seront pas oubliés, des premiers pionniers jusqu'aux géants actuels comme *Apple*, *Microsoft*, et *Google*, avec un regard sur leurs contributions à l'évolution technologique. Enfin, ce livre mettra en lumière les défis contemporains, notamment l'essor de l'intelligence artificielle, l'importance des *données* et de la *cybersécurité*, et les transformations sociétales provoquées par la révolution numérique. En lisant ce livre, vous découvrirez comment l'informatique a redéfini notre monde et continue de le transformer à un rythme effréné.



## CHAPITRE 2

### LA PRÉHISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

*Dans son sens premier, la préhistoire désigne la période de l'histoire humaine qui précède l'invention de l'écriture. De même, ici, je considère la « préhistoire de l'informatique » comme la période qui précède l'invention des premiers ordinateurs électroniques, tels Colossus (1943) et ENIAC (1945). Ce choix aussi arbitraire que personnel fait basculer Alan Turing dans la préhistoire lui qui proposa le premier le modèle théorique de la science informatique moderne... Cette période aussi riche que passionnante, nous dévoile ce terreau fertile dans lequel l'informatique moderne plongera ses racines les plus profondes. Elle vous montrera pourquoi l'homme a voulu compter et réguler, comment sa représentation de l'information à évolué au cours du temps et les découvertes fondamentales qui ont permis l'émergence de ces premiers ordinateurs.*

## 2.1 La représentation de l'information

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé la notion d'information en montrant comment une suite de symboles peut prendre un sens selon le contexte, et comment cette information peut être codée et transmise.

Mais finalement pourquoi l'homme a-t-il eu besoin de représenter l'information et, par la suite, de la traiter ? Même si cela semble évident aujourd'hui, il faut remonter à la préhistoire (la vraie cette fois !) pour comprendre l'origine de ce besoin.

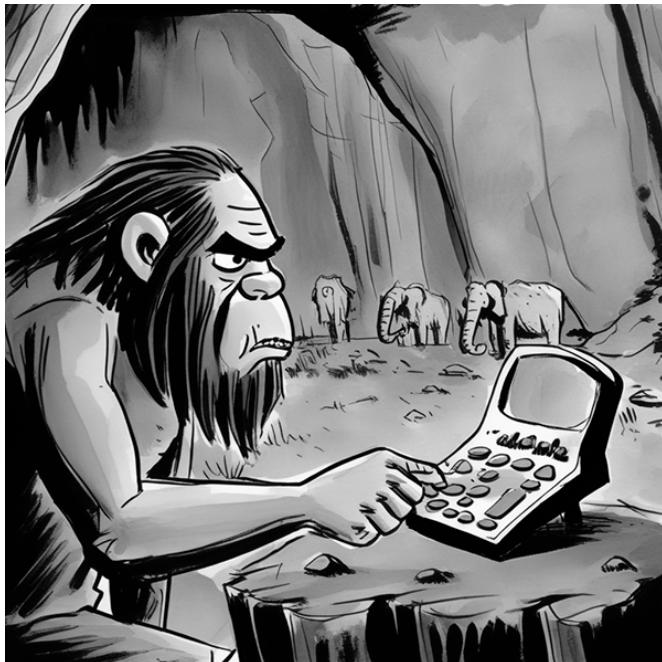


FIGURE 2.1 – Compter les mammouths

Auteur : Sébastien Inion. Licence : CC BY-SA 3.0.

Il y a environ 11 700 ans, la fin de la dernière grande glaciation marque le début de l'Holocène, une période caractérisée par un réchauffement climatique significatif. Ce changement climatique bouleverse le mode de vie de l'homme, qui passe progressivement du chasseur-cueilleur à celui d'agriculteur [3].

L'agriculture exige de nouvelles compétences : les hommes doivent apprendre à observer et à anticiper les cycles saisonniers pour savoir quand semer et récolter leurs cultures. Pour cela, ils commencent à observer les phénomènes naturels de manière plus systématique et doivent trouver des

moyens de noter et de conserver ces informations pour pouvoir les utiliser d'une saison à l'autre. Cela marque le début d'une représentation de l'information structurée et durable.

Le développement de l'agriculture a également conduit à la nécessité de délimiter des terres pour les cultures, ce qui implique des mesures et des bornages. Il fallait planifier la distribution des champs et organiser la production. En plus de cela, la gestion des stocks de nourriture, en prévision des périodes de disette ou d'hiver, est devenue cruciale, ce qui a entraîné un besoin de compter et de calculer les ressources disponibles.

Avec l'établissement des villages et des premières civilisations agricoles, les échanges entre tribus et communautés se sont multipliés. Le commerce, que ce soit des surplus agricoles ou d'autres biens, a alors pris de l'ampleur. Cela a fait émerger de nouveaux besoins en comptabilité, pour suivre les échanges, mesurer les quantités et établir des équivalences dans les trocs. La représentation et le traitement de l'information ont donc pris une importance croissante pour permettre le développement des échanges commerciaux et des sociétés plus complexes.

Ce passage de la survie immédiate à la planification à long terme a marqué une étape clé dans l'évolution humaine. Il a marqué le début de la nécessité de représenter l'information et de calculer, autant pour gérer les ressources agricoles que pour structurer les échanges économiques. Mais comment à évoluer cette représentation de l'information ?

## Les boules et jetons d'argile de l'Asie Occidentale

**Les boules et jetons d'argile** de l'Asie Occidentale sont considérés comme l'un des premiers moyens utilisés pour représenter des informations de manière abstraite, bien avant l'invention de l'écriture. Ces objets, souvent appelés *calculi* (ce qui veut dire « petits cailloux ») et donnera naissance au mot calcul), ont été utilisés dès environ 8000 avant notre ère dans les régions qui correspondent aujourd'hui à l'Iran, l'Irak et la Syrie, à une époque où l'agriculture et le commerce commençaient à prendre de l'ampleur dans ces premières civilisations.

En effet l'un des problèmes qui se posent alors est : comment comparer la taille du troupeau qui est parti en pâturage avec celui qui est revenu ? [6] Les boules et jetons d'argile servaient principalement à représenter des *quantités* d'objets ou de ressources, comme du bétail, des grains ou des jarres d'huile. Chaque jeton avait une forme spécifique, correspondant à une denrée particulière. Par exemple, un cône pouvait représenter une mesure de céréales, tandis qu'une sphère pouvait symboliser un bétail. Comme la confiance ne régnait pas, déjà à cette époque, se posait la question de

qui garde ces jetons ? En effet voler un mouton serait facile en retirant simplement un caillou. Pour éviter ça, les jetons étaient conservés dans des enveloppes d'argile creuses appelées **bulles** ou *balles*, qui étaient scellées. On voit déjà ici toute la réflexion sur le stockage de l'information et les premiers soucis de piratage !



FIGURE 2.2 – La bulle-enveloppe et ses jetons (vers 3300-3100 av. J.-C.)  
Licence : Domaine public.

Ces systèmes de jetons et d'enveloppes représentaient un outil essentiel pour la gestion des *ressources* dans ces sociétés naissantes, marquant une étape importante dans l'évolution de la **représentation de l'information**. Au lieu de s'appuyer uniquement sur la mémoire ou des échanges verbaux, les hommes de cette époque ont commencé à utiliser des objets physiques pour *encoder* et *stocker des informations* sur leurs biens et transactions. On peut considérer ces boules d'argiles comme le début du traitement rationnel de l'information.

## L'écriture

Revenons à nos moutons ! Nous avons donc des jetons scellés à l'intérieur de balles d'argile. Pour vérifier s'il manque des moutons, il faut casser ces balles, car sans cela, il est impossible de connaître le contenu. Le simple fait de « compter » les moutons est une opération rudimentaire : on place un caillou à chaque fois qu'un mouton part au pâturage et on en retire un lorsqu'il rentre. Si des cailloux restent à la fin de la journée, c'est qu'il manque des moutons. Ce système fonctionnait tout aussi bien pour des bœufs, des girafes, ou des éléphants. Et c'est à ce moment-là qu'un véritable bond en avant a été réalisé.

Au lieu de devoir casser la balle à chaque vérification, les hommes ont eu l'idée ingénieuse de **dessiner sur l'extérieur de la balle les jetons qu'elle contenait**. Ainsi, l'information pouvait être obtenue sans briser l'enveloppe. Cette avancée a été cruciale, car elle a permis de stocker et de consulter l'information visuellement sans détruire le contenant. Bientôt, il est devenu évident que les jetons eux-mêmes devaient superflus : les dessins suffisaient à représenter l'information. Il n'était plus nécessaire de sceller les jetons, il suffisait de graver des symboles sur l'argile.

C'est ainsi qu'est née l'écriture. Plus précisément l'écriture cunéiforme<sup>1</sup>. Ces coins étaient gravés dans de l'argile fraîche, la pierre, le métal et plus tard sur des tablettes de cire.

Ce simple geste de tracer des symboles a constitué un pas fondamental pour l'humanité, permettant de **représenter l'information de manière abstraite et permanente**. Cela a révolutionné la manière dont les sociétés pouvaient stocker et transmettre des données. Les premiers systèmes d'écriture ont non seulement facilité la gestion des biens et des ressources, mais ils ont aussi permis l'émergence de systèmes plus complexes, que l'on pourrait comparer à nos bases de données modernes.

De ce besoin de compter les moutons est née la possibilité de **communiquer et d'organiser de l'information à grande échelle**. La représentation symbolique des objets est à l'origine des concepts d'abstraction et de traitement de l'information, qui sont aujourd'hui l'essence même de nos systèmes informatiques.

## Le binaire de Fou Hi

Quelques milliers d'années après les premières tentatives d'écriture symbolique en Mésopotamie et en Égypte, un autre pas important vers nos systèmes modernes a été franchi par l'introduction de la représentation bi-

---

1. En forme de coin : cuneus en latin.

naire. L'empereur légendaire *Fou Hi*<sup>2</sup> est souvent crédité d'une découverte remarquable : le système binaire, fondé sur la représentation de l'information en deux états, symbolisés par des traits pleins et des traits brisés. Fou Hi aurait utilisé cette méthode pour représenter des concepts complexes sous forme simple. Plutôt que de s'appuyer sur une multiplicité de symboles, l'idée était de coder l'information avec seulement deux valeurs de base : un trait plein, qui représentait l'unité ou l'affirmation, et un trait brisé, symbolisant le zéro ou la négation. Ce système se retrouve dans les célèbres *Trigrammes du Yi Jing*, qui décrivent la dualité du Ying et du Yang.

## Le binaire de Leibnitz

*Gottfried Wilhelm Leibniz*<sup>3</sup>, philosophe et mathématicien allemand, est largement reconnu pour avoir formalisé le système binaire au XVII<sup>e</sup>. Sa découverte du système binaire est l'une des contributions les plus importantes à l'histoire des mathématiques et, indirectement, à l'informatique moderne.

Leibniz s'intéressait à la simplification des calculs et à la recherche d'un système plus simple que le système décimal. Il chercha à représenter les nombres uniquement à l'aide de deux symboles, qu'il considérait comme une abstraction des concepts de « rien »(0) et « quelque chose »(1). En 1703, il publie son travail intitulé « *Explication de l'Arithmétique Binaire* », où il décrit ce système.

Leibniz voyait dans le binaire une correspondance avec des concepts philosophiques et religieux : il associait le 1 à Dieu, et le 0 à l'univers avant la création. Pour lui, le binaire était une manière de représenter la dualité présente dans la nature et la logique, comme l'opposition entre le bien et le mal, le tout et le rien. Dans son système, les nombres étaient représentés uniquement par des 0 et des 1.

*Par exemple* : 1 est représenté par 1 en binaire, 2 par 10, 3 est représenté par 11, etc.

Leibniz démontra également comment réaliser les opérations arithmétiques de base (addition, soustraction, multiplication) en utilisant des nombres binaires. En effet, lors de ses recherches sur le binaire, il correspondit avec des érudits chinois et découvrit des similitudes entre son système binaire et les 64 hexagrammes du *Yi Jing*, qui avaient influencé sa réflexion.

Sa découverte du binaire va jouer un rôle très important pour l'informatique. En effet le binaire est un pilier fondamental des ordinateurs et des

2. Biographie page : 280

3. Biographie page : 281

technologies numériques, Il a permis de simplifier le traitement des données par des machines en résumant toutes les informations par une suite de 0 et de 1 combiné.

## 2.2 L'histoire du calcul

Depuis les premières civilisations humaines, il y a environ 40 000 ans, le besoin de mesurer et de s'organiser à poussé l'homme à inventer des outils et des concepts pour calculer. Il y a 40 000 ans ce n'était pas avec une calculatrice scientifique programmable en Python mais en inscrivant des entailles dans le bois ou sur des os.

C'est avec l'agriculture et la vie plus sédentaire et citadine que l'homme développe au IV<sup>e</sup> millénaire avant J.-C. en Mésopotamie un vrai système de numération. C'est le système de jetons en argile<sup>4</sup>.

Un peu plus tard les Babyloniens amènent les caractères « cunéiformes »<sup>5</sup>. Puis au III<sup>e</sup> millénaire, une nouvelle étape est franchie : la représentation des nombres n'est plus directement liée aux objets comptés. En effet, auparavant, si l'on comptait des moutons, on utilisait un symbole, pour une girafe un autre symbole. Désormais, le nombre existe en tant que concept abstrait, détaché de la réalité matérielle.

Hormis le système de représentation, un calcul représente une suite d'étapes à suivre dans un ordre précis. Comme cette démarche est toujours identique et peut être définie à l'avance, l'idée de créer des outils pour faciliter ces calculs est apparue très tôt.

Les premiers outils de calcul, comme les abaque, représentaient une avancée dans la gestion des quantités et des transactions commerciales. Parallèlement, la logique, en tant que discipline philosophique, a fourni un cadre structuré pour raisonner et résoudre des problèmes. Par la suite et nous le verrons dans la partie 2.4 d'autres machines pour calculer seront inventées souvent pour s'éviter de longs et fastidieux effort devant des tâches répétitives.

C'est à travers ces progrès que des savants comme *Al-Khwarizmi*<sup>6</sup> ont introduit les premiers algorithmes, formalisant ainsi des méthodes de calcul qui se perpétuent encore aujourd'hui dans l'informatique moderne. En généralisant, on peut même dire que toute méthode consistant à représenter la solution d'un problème sous forme d'étapes à suivre relève d'une démarche algorithmique.

4. Voir partie : 2.1

5. En forme de coins et qui ressemblent à des clous.

6. Voir page 15

L'introduction du zéro dans le système de numération a constitué une véritable révolution dans l'histoire des mathématiques. Elle a permis une gestion plus précise des grands nombres ainsi que la réalisation de calculs complexes, ouvrant la voie à des avancées majeures dans la représentation numérique.

Cette quête de perfection dans le calcul ne s'est pas arrêtée là. Au XIX<sup>e</sup> siècle, l'algèbre de Boole a posé les bases des systèmes logiques qui serviront à la construction des circuits logiques et des ordinateurs modernes. Chaque étape de cette évolution témoigne du génie humain pour repousser les limites du calcul et de la manipulation des données, ouvrant la voie à l'informatique et aux technologies que nous utilisons quotidiennement.

Des premières marques laissées sur des os jusqu'aux systèmes complexes d'aujourd'hui, l'histoire du calcul est jalonnée d'innovations majeures qui ont permis à l'humanité de mieux comprendre et manipuler le monde qui l'entoure. C'est une histoire passionnante que je vous propose de découvrir ensemble.

## Les abaques et les bouliers

L'abaque est l'un des premiers outils de calcul utilisés par l'humanité, remontant à plusieurs millénaires. Conçu pour simplifier les opérations arithmétiques comme l'addition, la soustraction, la multiplication, et parfois la division, l'abaque se compose de colonnes représentant une valeur spécifique (unités, dizaines, centaines, etc.). À l'origine on pense que ces lignes étaient simplement tracées dans le sable et on disposait alors des coquillages ou cailloux pour indiquer une valeur.

Son principe de fonctionnement est assez simple et repose sur le placement et déplaçant de jetons pour effectuer des calculs. Le système de valeurs positionnelles est la condition de l'utilisation de l'abaque : chaque déplacement de jetons change la valeur représentée, permettant de réaliser des calculs de manière visuelle sans avoir besoin d'écrire les nombres.

Les abaques et les bouliers sont tous deux des outils anciens de calcul, mais ils présentent quelques différences.

L'abaque désigne un ensemble plus général d'instruments de calcul et peut prendre différentes formes selon les cultures et les époques. Traditionnellement, comme nous venons de le voir, l'abaque est une surface divisée en colonnes ou en lignes où l'on peut disposer des jetons ou des galets pour représenter des nombres alors que le boulier se compose d'un cadre rectangulaire avec des tiges parallèles sur lesquelles sont enfilées des perles mobiles. Les perles sont fixées et peuvent être déplacées le long des tiges pour représenter des valeurs numériques.

Le boulier d'Asie<sup>7</sup>, comme le suanpan chinois, possède entre neuf et treize rangées, avec deux boules dans la partie supérieure (ciel) valant 5 et cinq boules dans la partie inférieure (terre) valant 1. Ce système permet de représenter les nombres de 0 à 9 dans chaque colonne, et chaque rangée représente une puissance de dix différentes : unités, dizaines, centaines, milliers, dizaines de milliers, centaines de milliers, millions, etc.

En plus de son rôle dans le calcul, l'abaque et le boulier ont influencé le développement des systèmes de numération et de notation, notamment la base décimale. Bien qu'il ait été progressivement remplacé par des méthodes écrites et des machines à calculer modernes, son principe de calcul visuel et manipulable reste fondamental dans l'évolution des outils de calcul et constitue le premier outil de calcul interactif.

## La logique

La logique trouve ses racines dans la philosophie grecque, avec Aristote, qui a développé le premier système formel de syllogismes.

La logique représente une avancée majeure dans l'histoire du calcul, car elle permet d'organiser le raisonnement mathématique de manière systématique. En effet avant l'introduction de la logique formelle, les raisonnements mathématiques étaient souvent intuitifs ou basés sur des preuves empiriques. La logique, en tant que discipline, a introduit des règles et des principes clairs pour enchaîner les idées et arriver à des conclusions. Grâce à ces règles, il devient possible de vérifier chaque étape d'un raisonnement, assurant qu'elle est cohérente avec les principes logiques établis.

En introduisant des règles précises, la logique a permis d'appliquer des opérations complexes sur des concepts de vrai et de faux, posant ainsi les bases du raisonnement automatisé. Cette formalisation a également joué un rôle crucial dans la création d'algorithmes, en intégrant des opérations conditionnelles (comme IF, THEN, ELSE), que l'on retrouve dans tous langages de programmation et qui permettent de prendre des décisions dans un processus de calcul et de traitement.

## Les premiers algorithmes avec Al-Khwarizmi

Les premières tentatives de définition des algorithmes remontent à l'Antiquité. Bien que le concept moderne d'algorithme n'ait émergé qu'avec les travaux de mathématiciens plus récents, l'idée que la connaissance puisse

---

7. Au Japon, en Chine, et dans d'autres pays d'Asie, le boulier (notamment le soroban japonais et le suanpan chinois) est toujours utilisé dans les écoles pour enseigner les mathématiques.

être exprimée de manière structurée et logique était déjà présente chez les philosophes de l'Antiquité.

Platon, par exemple, explore dans ses dialogues la nature de la connaissance et la manière dont les concepts peuvent être définis et compris. Dans *Ménon*, il examine la possibilité d'enseigner la vertu en la définissant et en la discutant, ce qui implique que la connaissance peut être articulée à travers des énoncés clairs. De plus, dans *Le Banquet*, il est dit que « La connaissance des mots conduit à la connaissance des choses »<sup>8</sup>.

Cette perspective, bien qu'ancienne, reflète l'idée que, selon Platon, la connaissance peut être exprimée et transmise par le biais d'énoncés et de définitions. Ainsi, bien avant l'émergence de l'informatique moderne, l'idée d'une formalisation de la pensée était déjà présente dans la philosophie grecque.



FIGURE 2.3 – Al-Khwarizmi

Auteur : Sébastien Inion. Licence : CC BY-SA 3.0..

La formalisation de la logique a permis de structurer le raisonnement

---

8. Platon, *Le Banquet*, cité par <https://evene.lefigaro.fr/citations/platon>

mathématique, ouvrant la voie à des méthodes de calcul plus avancées et organisées. Cette structuration du raisonnement a ensuite été appliquée pour résoudre des problèmes concrets grâce à des procédures systématiques. C'est dans ce contexte que le mathématicien persan *Abu Ja'far Mohammed Ibn Musa Al-Khwarizmi*, au IX<sup>e</sup> siècle, introduit les premiers concepts d'algorithmes dans son ouvrage : *Le Livre du calcul par la restauration et la comparaison*.

Dans ce traité, *Al-Khwarizmi* (voir *Biographie*, page 275) présente des méthodes pour résoudre des équations en appliquant une série d'étapes organisées et précises pour parvenir au résultat voulu. Ce processus, consistant à décomposer un problème en opérations successives, est ce que l'on appelle aujourd'hui un algorithme. D'ailleurs, le terme « algorithme » est directement dérivé de son nom, *Al-Khwarizmi*, francisé au fil du temps en « *Algorismi* » puis « algorithme » en français, pour désigner toute suite de règles ou d'étapes permettant de résoudre un problème de manière systématique.

En introduisant une méthode systématique pour résoudre des problèmes, *Al-Khwarizmi* a non seulement permis la diffusion de techniques de calcul avancées, mais a aussi jeté les bases d'un concept essentiel en informatique : la résolution par étapes. Ainsi, les travaux d'*Al-Khwarizmi* ont marqué une étape clé dans l'histoire du calcul, en passant de la logique abstraite au calcul appliqué par le biais d'algorithmes, une approche qui perdurera jusqu'à l'ère des ordinateurs modernes.

Il est naturel de penser que, les algorithmes n'exigeant aucune initiative ni intelligence au-delà de l'application stricte d'instructions, l'idée de créer une machine capable de les exécuter ait émergé tôt dans l'histoire. Ainsi, dès l'an 1000, des tentatives notables ont vu le jour, notamment celles de Gerbert d'Aurillac. Ce dernier, futur pape sous le nom de Sylvestre II, introduisit en Europe l'utilisation de l'abaque et contribua à la diffusion des chiffres arabes, posant ainsi les bases pour une mécanisation du calcul.

## Le zéro s'impose

L'idée du zéro n'a pas été évidente à concevoir, car elle va à l'encontre de l'utilisation initiale des nombres pour représenter et compter ce qui existe, ce qui est tangible. Pendant des millénaires, les systèmes de numération ont été développés pour dénombrer des objets concrets : des troupeaux, des récoltes, des soldats, bref, des réalités observables et quantifiables. Dans ce contexte, l'absence d'un élément n'avait pas besoin d'un symbole dédié. L'introduction du zéro a demandé un véritable saut conceptuel. L'idée même d'attribuer une valeur à « rien » a représenté une rupture majeure

dans la pensée mathématique, et elle a marqué le passage d'une numération empirique vers une arithmétique abstraite, capable de manipuler des concepts invisibles mais fondamentaux.

Ce concept est apparu pour la première fois sous forme de symbole et de valeur numérique dans l'Inde ancienne, autour du V<sup>e</sup> siècle de notre ère. Les mathématiciens indiens utilisaient un point pour représenter le zéro en tant que chiffre dans le système de numération, qui se révéla essentiel pour le calcul positionnel. Le mathématicien indien *Brahmagupta* (598-668) est crédité pour avoir formalisé les premières règles de calcul avec le zéro dans son ouvrage, *le Brahmasphutasiddhanta*, en 628. Il s'est ensuite répandu vers le monde islamique au cours du IX<sup>e</sup> siècle grâce aux échanges commerciaux et à l'étude des mathématiques indiennes. Les mathématiciens arabes, comme Al-Khwarizmi (voir *Biographie*, page 275), ont ensuite contribué à introduire le zéro dans le monde occidental. Ce n'est qu'à partir du XII<sup>e</sup> siècle que le zéro, ainsi que les chiffres arabes, furent introduits en Europe par les mathématiciens italiens, notamment grâce à Fibonacci (voir *Biographie*, page 279) et son *Liber Abaci* (1202), qui popularisa ces concepts.

Pourquoi le zéro est-il si important dans l'histoire de l'informatique et du calcul ? L'introduction du zéro dans les systèmes de numération positionnels est un point tournant pour les mathématiques. Grâce au zéro, chaque chiffre prend un sens selon sa position dans un nombre : dans « 105 », par exemple, le zéro indique qu'il n'y a pas de dizaine. Sans le zéro, il aurait été bien plus difficile de noter et de manipuler des nombres élevés ou des calculs complexes, chaque position ayant un rôle particulier en fonction de sa puissance de dix. Ce concept, venu de la numération indienne, a permis d'effectuer des calculs arithmétiques de manière beaucoup plus structurée, rapide et précise, jetant ainsi les bases des mathématiques et de l'algèbre moderne, dont dépend fortement l'informatique. Ainsi avec 10 symboles on peut représenter tous les nombres.

En informatique, le zéro est essentiel dans le système binaire, qui est le fondement du calcul numérique moderne. Le binaire repose sur deux valeurs : 0 et 1. Ces deux symboles permettent de représenter toutes les informations de manière simplifiée dans les ordinateurs. Un ordinateur encode ainsi tout type de données, qu'il s'agisse de texte, d'images, ou de sons, sous forme de longues séquences de 0 et de 1, appelées bits. Le bit de valeur 0 indique l'absence de charge ou un état « éteint », tandis que le 1 représente la présence de charge ou un état « allumé ». Ce modèle simplifie et accélère le traitement de l'information dans le matériel informatique. Le zéro et le un sont utilisés également dans l'algèbre booléenne.

## L'algèbre de Boole

L'algèbre de Boole, développée par *George Boole* (voir *Biographie*, page 277) en 1854, est une branche des mathématiques qui traite de la logique et des opérations logiques (comme ET, OU, et NON) sous forme d'équations. L'algèbre de Boole permet de représenter des valeurs logiques par des symboles binaires (0 et 1), ce qui constitue la base du fonctionnement des circuits logiques modernes et de l'informatique numérique. Utilisée pour la première fois dans les circuits électroniques à la fin des années 1930, l'algèbre de Boole est essentielle pour la conception des processeurs et pour l'exécution des opérations logiques dans les ordinateurs.

## 2.3 Découvertes clés à l'origine de l'informatique

Une fois que les algorithmes sont définis, la question suivante se pose : quelles caractéristiques une machine devrait-elle posséder pour exécuter de telles instructions et séquences ? Et, une fois ces caractéristiques listées, disposons-nous des moyens et des connaissances pour les mettre en œuvre ?

Si l'informatique a pu se développer grâce à une série de découvertes et de progrès scientifiques, notamment en électronique, son essor est étroitement lié aux avancées permettant de contrôler des impulsions électriques de manière rapide et précise. Ces impulsions sont essentielles pour représenter les 0 et les 1 qui forment la base du calcul binaire. Ces états électriques symbolisent les données que les unités logiques utilisent pour effectuer des calculs et produire des résultats, eux aussi sous forme de 0 ou de 1.

Explorons ensemble quelques étapes clés de ce parcours, qui a permis aux idées abstraites des algorithmes de devenir réalité grâce aux avancées technologiques.

## L'électricité

L'électricité qui représente le mouvement des charges électriques dans un conducteur (électrons), est une découverte fondamentale pour le développement de l'informatique. Sans elle rien en serait possible du moins dans l'informatique que nous connaissons actuellement. La compréhension de l'électricité, initiée au XVIII<sup>e</sup> siècle par des scientifiques comme *Benjamin Franklin* et *Michael Faraday*, a permis de construire des dispositifs électriques capables de manipuler des informations sous forme de signaux. En effet nous symbolisons l'information avec des 0 et des 1 mais il s'agit bien d'impulsion électrique (0 pas d'impulsion ou en dessous d'un seuil exprimé en volt, 1 avec une impulsion électrique). Avec l'arrivée de la pile

voltaïque de *Alessandro Volta* en 1800, suivie des travaux sur les courants électriques, l'électricité est devenue la pierre angulaire des circuits et composants utilisés dans les premiers ordinateurs.

## Le relais électrique

Le relais électrique, inventé par *Joseph Henry* en 1835, est un interrupteur contrôlé par un courant électrique. Il permet d'ouvrir ou de fermer un circuit de manière mécanique, ce qui autorise la représentation de deux états logiques : fermé (1) ou ouvert (0).

Utilisé dans les premières machines à calculer électromécaniques, telles que le *Mark I* de Howard Aiken et le *Z3* de Konrad Zuse, le relais a joué un rôle fondamental dans la construction des premiers ordinateurs. Il permettait de contrôler le flux de courant et de réaliser des opérations logiques élémentaires à partir d'impulsions électriques.

Rapidement remplacé par les tubes à vide, puis par les transistors, le relais présentait plusieurs limites : lenteur, encombrement, usure mécanique, et forte consommation d'énergie. Malgré cela, il a constitué une étape déterminante dans l'émergence des composants logiques et, plus largement, de l'architecture des ordinateurs.

## Le rayonnement cathodique

Le rayonnement cathodique, découvert par *Johann Hittorf* dans les années 1860 et plus tard étudié par *William Crookes*, est un flux d'électrons émis par une cathode dans un tube sous vide. Ce phénomène a mené au développement du tube cathodique (CRT), qui a été utilisé dans les premiers écrans d'ordinateur pour afficher des informations visuelles. Les tubes cathodiques ont marqué un progrès important dans la capacité des ordinateurs à interagir avec les utilisateurs par des interfaces visuelles et ont été le principal moyen d'affichage des ordinateurs jusqu'à l'avènement des écrans LCD et LED. Avant ces premiers écrans l'information se matérialisait sous forme de lumières (allumées ou éteintes).

## La Diode

Une diode est un composant électronique qui laisse passer le courant dans un sens et le bloque dans l'autre. Elle est essentielle en informatique pour redresser le courant, protéger les circuits et alimenter les composants correctement. Par exemple, dans une alimentation d'ordinateur, les diodes transforment le courant alternatif en courant continu. Les LEDs, présentes dans les écrans et indicateurs lumineux, sont aussi des diodes.

## DIODE DE FLEMING

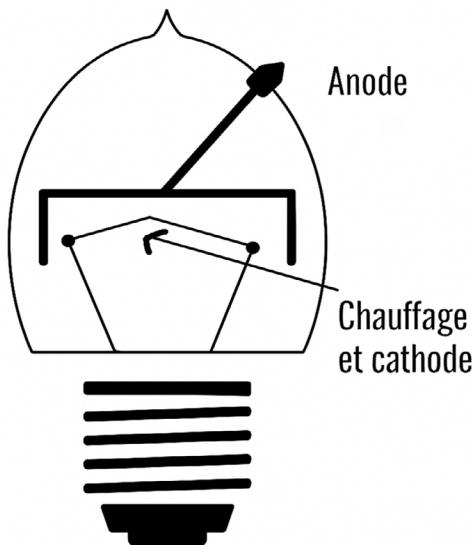


FIGURE 2.4 – Diode de Fleming

Auteur : John Smith. Licence : CC BY-SA 3.0.

Historiquement, la première *diode à vide* a été inventée en 1904 par **John Ambrose Fleming** (voir *Biographie*, page 279).

Elle est constituée d'un tube en verre (le vide), avec deux électrodes à l'intérieur : une cathode et une anode. La cathode est chauffée pour libérer des électrons. Les électrons sont attirés vers l'anode si elle est positive, permettant au courant de circuler dans ce sens. Mais, si l'anode est négative, les électrons ne peuvent pas se déplacer vers elle, bloquant le courant dans l'autre sens.

Les diodes à vide<sup>9</sup> étaient utilisées dans les anciens appareils électroniques, comme les radios et les premiers ordinateurs, pour redresser le courant (transformer le courant alternatif en courant continu) et comme interrupteurs. Cependant, elles étaient encombrantes et peu fiables (durée de vie courte).

Les diodes à semi-conducteurs, comme les diodes à jonction, peuvent commuter rapidement entre l'état conducteur et l'état bloquant. Cette capacité est importante dans les circuits numériques où des changements rapides de signal (entre 0 et 1) sont nécessaires pour traiter les informations et effectuer des opérations logiques.

---

9. Voir aussi le chapitre 4

Avec l'apparition des diodes semi-conductrices dans les années 1940-1950, elles ont révolutionné l'électronique, permettant le développement des premiers ordinateurs comme l'ENIAC.

## La Triode

La triode, inventée en 1906 par l'ingénieur américain *Lee De Forest* (voir *Biographie*, page 278), qui a eu l'idée génial d'introduire entre les deux électrodes de la lampe diode de Flemming une troisième électrode en forme de grille. Il appelle ce tube l'*Audion* mais le nom Triode lui est donné en 1912 par *W. H. Eccles*. En ajoutant cette grille à la diode existante, De Forest a créé un dispositif capable de contrôler le flux d'électrons à travers le vide en fonction d'une tension appliquée, permettant ainsi l'amplification du signal.

Cette capacité d'amplification a ouvert la voie aux premières radios de longue portée, aux systèmes de téléphonie, et a rendu possible la transmission d'informations sur des distances bien plus importantes. La triode a également été l'élément clé pour la création des premiers ordinateurs électroniques durant les années 1940. Remplacée dans la seconde moitié du siècle par le transistor, qui offrait une plus grande fiabilité et un encombrement réduit, la triode reste cependant un jalon historique majeur dans le développement de l'électronique moderne et de l'informatique.

## 2.4 Des premières « machines » à l'ordinateur

L'ordinateur est souvent perçu, à tort, comme la seule représentation de l'informatique. Il est vrai qu'il incarne la notion de « machine », ou, comme l'explique plus précisément *Philippe Breton* (Voir bibliographie : [2]), il s'inscrit dans une longue tradition d'automates.

Le premier dispositif automatisé — bien qu'il ne s'agisse pas encore d'un véritable automate — est le piège créé par l'homme préhistorique. Puis la volonté de maîtriser le temps le pousse à la construction d'horloges.

À la Renaissance, des artisans comme *Léonard de Vinci* ont poussé la conception des automates plus loin, créant des machines capables de simuler des mouvements humains ou animaux. Cependant, c'est au XVIII<sup>e</sup> siècle que les automates prennent une nouvelle dimension avec Jacques de Vaucanson et ses créations, comme le canard mécanique, qui donnait l'illusion de digérer de la nourriture. Ces dispositifs ont prouvé qu'il était possible d'imiter certaines actions humaines par des moyens mécaniques, une idée qui a influencé les premiers ordinateurs. Dans les années 1940, les automates ont inspiré des pionniers comme *Alan Turing* à réfléchir sur la possibilité

de créer des machines capables de simuler l'intelligence humaine, ouvrant ainsi la voie à l'intelligence artificielle.

Je vous invite à découvrir les premières machines conçues par l'homme, principalement pour mesurer et calculer, mais surtout pour se libérer de tâches répétitives et ingrates.

## La machine d'Anticythère

La machine d'Anticythère, découverte en 1901 dans une épave au large de l'île grecque d'Anticythère, est souvent considérée comme la première calculatrice analogique connue. Datant du II<sup>e</sup> siècle av. J.-C., cet instrument complexe, composé d'engrenages en bronze, servait à prédire les positions astronomiques des planètes et à calculer des événements comme les éclipses. Les chercheurs pensent que cette machine pouvait simuler les mouvements du Soleil, de la Lune, et des planètes sur un cycle de plusieurs années, montrant une compréhension avancée de l'astronomie et de la mécanique. La précision et la complexité de ses engrenages en font une invention exceptionnelle pour l'époque, capable de calculer des phénomènes cycliques avec une finesse remarquable. Elle représente une étape clé dans l'histoire des machines, montrant que les anciens possédaient non seulement des connaissances astronomiques avancées mais aussi des compétences en ingénierie sophistiquée. La machine d'Anticythère a inspiré les historiens de l'informatique, car elle démontre l'ancienneté des efforts humains pour développer des outils de calcul et d'observation précis. Aujourd'hui, elle est considérée comme un précurseur des ordinateurs analogiques et illustre les premières tentatives de créer des dispositifs automatiques pour assister les calculs complexes.

## Les premières horloges : les clepsydres

Comme mentionné précédemment, le désir de mesurer et de contrôler le temps a poussé les hommes à concevoir des horloges. Parmi les premières machines de mesure du temps, on trouve les clepsydres, ou horloges à eau. Bien que les cadrans solaires aient déjà existé, ils étaient peu précis et inopérants la nuit ou par temps nuageux. Un autre dispositif utilisé était le sablier, qui jouait le rôle de minuteur pour des intervalles courts.

Apparues vers le XVI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. en Égypte et en Mésopotamie, les clepsydres fonctionnaient en contrôlant l'écoulement de l'eau avec une précision relative. Les premières versions de ces dispositifs ne possédaient qu'un seul récipient et servaient souvent de minuteurs pour assurer, par exemple, un temps de parole équitable dans les débats : on remplissait un récipient, retirait un bouchon pour que l'eau s'échappe, et quand il n'y

avait plus une goutte, le temps imparti était écoulé — d'où l'origine de l'expression : « Le temps qui s'écoule ! »

Dans la Grèce antique, les clepsydres furent perfectionnées pour améliorer la régularité de l'écoulement et éviter que le débit d'eau ne varie selon la quantité restante dans le récipient. Les Romains et les Chinois développèrent également leurs propres modèles, certains avec des mécanismes sophistiqués pour compenser les variations de pression.

Ces clepsydres constituent une étape importante dans l'histoire des machines, en représentant les premiers systèmes de mesure du temps automatisés. Elles ont inspiré plus tard la conception des horloges mécaniques, qui, à leur tour, ont influencé les systèmes de calcul temporel dans l'informatique moderne.

## Les machines pour imprimer

Les machines d'impression, en particulier l'invention de l'imprimerie par *Johannes Gutenberg* au milieu du xv<sup>e</sup> siècle, ont révolutionné la diffusion des connaissances. Contrairement aux méthodes manuelles de copie de textes, où chaque page devait être écrite à la main, l'imprimerie permet de reproduire des milliers de pages identiques de manière mécanique et rapide. En utilisant des caractères mobiles en métal disposés dans une presse, Gutenberg a conçu un système où le texte pouvait être encré et pressé sur des feuilles de papier de façon répétée, sans intervention humaine pour chaque impression. Une fois le dispositif configuré, l'imprimerie fonctionne de manière autonome pour chaque impression, permettant une reproduction en série, indépendante de l'effort humain.

Cette capacité à fonctionner de manière répétitive et efficace a transformé la diffusion des connaissances, en rendant les livres plus accessibles et abordables. L'imprimerie a ainsi indirectement contribué aux fondements de l'informatique, en rendant les informations techniques plus accessibles et directement, car l'imprimerie est une véritable machine automatique : elle exécute une tâche complexe, celle de reproduire fidèlement des textes, de façon autonome une fois la configuration initiale terminée. Ce principe d'automatisation est un précurseur des technologies modernes, car il repose sur le même concept fondamental : une machine configurée pour exécuter une tâche répétitive sans intervention continue.

## Les machines arithmétiques xvii<sup>e</sup> siècle

Contrairement à ce qu'on pense la première machine à calculer n'est pas de Pascal mais de *Wilhelm Schickard*, un mathématicien et astronome

allemand, qui est reconnu comme l'inventeur de la première machine à calculer mécanique. En 1623, il conçoit et construit un dispositif qu'il nomme la « machine à calculer » ou « horloge calculante ». On remarquera encore l'importance qu'ont jouée les horloges... Cette machine, qui utilisait des engrenages pour effectuer des opérations arithmétiques comme l'addition et la soustraction, était capable de gérer des calculs automatisés, une avancée extraordinaire pour l'époque. Schickard destinait cette machine à son ami Johannes Kepler, l'astronome célèbre, pour l'aider dans ses calculs astronomiques.

*Blaise Pascal* est né l'année où *Schickard* inventait sa machine. En 1642, il invente sa machine appelée : **La Pascaline**. Conçue pour faciliter les calculs d'addition et de soustraction, elle répondait à un besoin concret : aider le père de Pascal, collecteur d'impôts, à effectuer des opérations arithmétiques répétitives dans le cadre de son travail. La Pascaline utilise un système de roues dentées pour représenter les chiffres, chaque roue correspondant à un chiffre décimal. Lorsque la roue des unités dépasse 9, elle entraîne automatiquement la roue des dizaines, imitant ainsi le mécanisme de retenue utilisé dans les calculs manuels.

La machine était relativement simple, mais elle représentait une avancée significative pour l'époque. Bien qu'elle n'ait pas connu un succès commercial immédiat, principalement en raison de son coût élevé et de sa complexité de fabrication, la Pascaline marquait un jalon dans l'histoire des calculs automatiques. Sa conception était basée sur des principes mécaniques qui influenceront plus tard d'autres inventeurs, comme *Gottfried Wilhelm Leibniz*, qui ajouta des fonctions de multiplication et de division à sa propre machine quelques décennies plus tard.

Ces machines furent les premières à utiliser des systèmes mécaniques pour exécuter des calculs complexes et marquèrent une avancée majeure dans la conception des dispositifs de calcul automatique. Elles posèrent les bases de l'ingénierie informatique, en démontrant que des opérations mathématiques pouvaient être automatisées. Bien que limitées en puissance, ces premières machines à calculer ont ouvert la voie aux ordinateurs mécaniques et, plus tard, électroniques.

## Le métier à tisser

Le métier à tisser, en particulier le métier à tisser Jacquard inventé par *Joseph-Marie Jacquard* en 1804, représente une avancée dans l'automatisation des tâches répétitives. Ce métier utilisait des cartes perforées pour contrôler le motif de tissage, permettant de produire des tissus avec des motifs complexes sans intervention manuelle continue. Les cartes per-

forées contenait des instructions encodées qui déterminaient le motif, un concept qui inspirera plus tard les premiers ordinateurs. En effet, le système de cartes perforées de Jacquard est l'une des premières formes de stockage d'informations programmables, et il a influencé des pionniers comme *Charles Babbage* et *Herman Hollerith*. Le métier à tisser Jacquard est un exemple clé de la manière dont l'automatisation peut être appliquée à des tâches mécaniques pour améliorer l'efficacité et la précision, des principes fondamentaux en informatique. Ce système de contrôle par cartes perforées a posé les bases de la programmation, en montrant que des instructions codées pouvaient contrôler une machine.

## La machine analytique de Babbage

La machine analytique, conçue par *Charles Babbage* dans les années 1830, est souvent considérée comme le premier concept d'ordinateur programmable. Cette machine, jamais construite en raison de limitations techniques et financières, était destinée à exécuter des calculs complexes en suivant une séquence d'instructions stockées sur des cartes perforées, un concept inspiré du métier à tisser Jacquard. La machine analytique comprenait des éléments de base présents dans les ordinateurs modernes, comme une unité de calcul (mouvement arithmétique), une mémoire pour stocker les données, et une unité de contrôle pour suivre les instructions. Babbage avait prévu des boucles et des opérations conditionnelles, ce qui aurait permis une flexibilité dans l'exécution des calculs. Ce concept de machine programmable influença grandement l'informatique moderne, et *Ada Lovelace*, qui travailla avec Babbage, est considérée comme la première programmeuse de l'histoire pour son travail sur la machine analytique. En effet, dans les années 1840, au-delà de la simple traduction d'un article de l'ingénieur italien *Luigi Menabrea* concernant cette machine, Lovelace a enrichi le texte de notes personnelles approfondies. Parmi celles-ci, la "Note G" se distingue particulièrement : elle présente un algorithme détaillé destiné à calculer les nombres de Bernoulli, ce qui est aujourd'hui reconnu comme le premier programme informatique de l'histoire. Visionnaire, Lovelace a également envisagé que la machine analytique puisse manipuler des symboles au-delà des simples nombres, ouvrant la voie à des applications potentielles dans des domaines variés tels que la musique. Pour plus d'information sur Ada Lovelace voir la page 36.

On peut considérer la machine analytique de Babbage comme la synthèse des savoirs techniques accumulés depuis le XVII<sup>e</sup> siècle. Elle combine les mécanismes des machines arithmétiques (roues dentées, cylindres de calcul) avec les principes de programmation issus du métier à tisser Jacquard

(cartes perforées). Toutes ces machines partagent un même socle technologique fondé sur la mécanique de précision. La machine analytique marque ainsi une transition décisive vers l'automatisation programmable, prémisses directes de l'informatique moderne.

## Les calculateurs électromécaniques

Bien qu'ayant permis de grandes avancées, les machines mécaniques souffraient d'une lenteur inhérente à leur fonctionnement, et avaient atteint leurs limites en matière de performances au début du xx<sup>e</sup> siècle. L'émergence de l'électromécanique ouvrit alors la voie à une nouvelle génération de machines plus rapides et plus fiables. C'est dans ce contexte que furent développés les premiers calculateurs<sup>10</sup> électromécaniques, dont le Harvard Mark I, construit en collaboration avec IBM, est l'un des exemples les plus emblématiques.

Les calculateurs électromécaniques<sup>11</sup> représentent une étape clé dans l'évolution des dispositifs de calcul, à mi-chemin entre les machines purement mécaniques et les ordinateurs électroniques. Apparus dans les années 1930 et 1940, ces dispositifs utilisaient des relais électromécaniques pour automatiser les calculs et réaliser des opérations complexes. Ils sont notamment associés aux figures de *Konrad Zuse* et *Howard Aiken*, deux pionniers ayant conçu des machines capables de répondre à des besoins scientifiques et militaires croissants pendant la Seconde Guerre mondiale.

## Leonardo Torres Quevedo : un précurseur de l'automatique (1888)

En 1888, l'ingénieur espagnol Leonardo Torres Quevedo conçoit une machine électromécanique novatrice capable de résoudre des équations algébriques. Cette machine, qu'il qualifie de *modèle algébrique*, ne se limite pas aux opérations arithmétiques comme les Pascaline ou les arithmomètres, mais repose sur une modélisation physique de relations mathématiques continues.<sup>12</sup>

10. Il convient de distinguer les calculateurs électromécaniques programmables, comme le Harvard Mark I ou le Z3, des machines dites *universelles* au sens de Turing. Un calculateur universel est une machine théorique capable de simuler tout algorithme concevable, pourvu qu'on lui fournit un programme et des données adaptés. Bien que les machines de Zuse et Aiken aient été extrêmement avancées pour leur temps, elles n'étaient pas pleinement universelles, car leur architecture ou leur langage de programmation présentait des limitations structurelles.

11. Pour plus d'informations, voir le chapitre 5.

12. Elle utilise des mécanismes concrets pour représenter des équations mathématiques dont les valeurs varient de manière continue, comme le ferait une courbe.

Son dispositif associe des composants mécaniques (roues, leviers, pouilles) à des éléments électriques (interrupteurs, électroaimants), constituant ainsi l'un des premiers exemples de calculateur électromécanique. Il s'agit d'une véritable anticipation des calculateurs analogiques du xx<sup>e</sup> siècle, conçus pour simuler des systèmes complexes.

L'approche de Torres Quevedo est radicalement nouvelle : il ne cherche pas à effectuer des calculs numériques isolés, mais à concevoir une machine configurable, capable de représenter des fonctions à l'aide de variables physiques. Elle est qualifiée d'électromécanique car elle associe des mécanismes physiques (roues, leviers) à des composants électriques (interrupteurs, électroaimants) pour automatiser le calcul sans intervention humaine directe.

Bien que la machine de Torres Quevedo ait été électromécanique et fonctionnelle dès la fin du xix<sup>e</sup> siècle, elle relevait du calcul analogique et n'était pas programmable au sens informatique. C'est pourquoi le Z3 de *Konrad Zuse* (voir plus loin) (1941), machine électromécanique numérique et programmable, est généralement considéré comme le premier véritable calculateur électromécanique selon les critères modernes de l'informatique.

## Les machines de Hollerith (1890)

À la fin du xix<sup>e</sup> siècle, le traitement des données issues du recensement devenait un défi majeur pour les administrations. Pour répondre à cet enjeu, l'ingénieur américain Herman Hollerith mit au point une machine tabulatrice électromécanique, utilisée pour la première fois lors du recensement américain de 1890.

Cette *tabulatrice* permettait de lire automatiquement des cartes perforées, sur lesquelles les informations (âge, sexe, lieu de naissance, etc.) étaient encodées sous forme de trous. En passant ces cartes dans la machine, des contacts électriques détectaient les perforations et actionnaient des compteurs mécaniques, permettant ainsi un traitement rapide et fiable des données. Grâce à cette innovation, la durée de traitement du recensement fut réduite de huit à deux ans.

Fort de ce succès, Hollerith fonda en 1896 la *Tabulating Machine Company*, qui fusionna au début du xx<sup>e</sup> siècle avec d'autres entreprises pour former en 1924 l'*International Business Machines Corporation* : **IBM**.

Les tabulatrices furent les premières machines à assurer une fonction de gestion automatisée de l'information à grande échelle, marquant ainsi le point de départ d'une nouvelle ère dans l'organisation des données et annonçant l'avènement de l'informatique moderne.

## L'IBM Type 285 (1933)

En 1933, IBM introduisit la tabulatrice *Type 285*, représentant une évolution par rapport aux modèles antérieurs. Succédant aux machines de Hollerith, qui avaient mécanisé le traitement des données via des cartes perforées, la Type 285 intégrait des fonctionnalités avancées, notamment une vitesse accrue de traitement atteignant 150 cartes par minute et la capacité d'imprimer des données numériques. Cette amélioration répondait aux besoins croissants des entreprises pour un traitement plus rapide et précis des informations. La Type 285 préfigurait ainsi les futurs développements des machines à calculer électromécaniques et renforçait la position d'IBM dans le domaine de la mécanographie.

## Le Complex Number Calculator des Bell Labs (1939)

En 1939, les laboratoires Bell développèrent, sous l'impulsion de George Stibitz, une machine électromécanique innovante destinée au calcul sur les nombres complexes. Appelée *Complex Number Calculator*, ou *Model I Relay Calculator*, cette machine utilisait environ 450 relais téléphoniques pour réaliser des opérations telles que l'addition, la multiplication ou la division de nombres complexes à huit chiffres. L'interaction avec la machine se faisait à distance, au moyen de télécriteurs, une caractéristique inédite pour l'époque. Elle est également reconnue comme la première machine de calcul fonctionnelle à utiliser le système binaire, représentant les données et les instructions sous forme de 0 et de 1. Cette réalisation démontra la faisabilité du calcul numérique automatisé par des moyens électromécaniques.

## Machines de Zuse (1940)

Konrad Zuse, ingénieur allemand, est reconnu pour avoir conçu et réalisé une série de machines à calculer électromécaniques pionnières entre les années 1930 et 1940. Vous pouvez découvrir ces machines dans la partie 5.1 page 67.

## Le Harvard Mark I (1944)

En 1944, l'Université Harvard, en collaboration avec IBM, mit en service le *Harvard Mark I*, également connu sous le nom d'*IBM Automatic Sequence Controlled Calculator* (ASCC). Ce calculateur fut principalement utilisé par la Marine des États-Unis pour effectuer des calculs balistiques et d'autres opérations complexes durant la Seconde Guerre mondiale. Il marqua une avancée significative dans l'automatisation du calcul et posa

les bases des futurs ordinateurs programmables. La présentation de cet ordinateur est fait dans la partie 5.1 page 70.

Les calculateurs électromécaniques ont grandement contribué aux efforts de guerre, en permettant de réaliser des calculs essentiels pour la balistique, la cryptographie, et la recherche scientifique. Cependant, leurs limites en termes de vitesse, de taille et de consommation d'énergie les rendaient peu pratiques à long terme. Les relais électromécaniques, bien plus rapides que les mécanismes purement mécaniques, étaient encore relativement lents et sujets à l'usure, ce qui limitait leur fiabilité et leur capacité à gérer de grands volumes de calculs.

Malgré leurs inconvénients, les calculateurs électromécaniques ont posé les bases de l'informatique moderne en démontrant que des machines pouvaient être programmées pour exécuter des séquences d'instructions complexes de manière autonome. Ils ont aussi inspiré les conceptions futures des ordinateurs électroniques, qui remplaceront les relais par des tubes à vide, puis par des transistors, marquant ainsi la transition vers des machines plus compactes, puissantes et fiables. Les calculateurs électromécaniques représentent donc une étape essentielle dans le cheminement vers l'ordinateur moderne, illustrant les efforts de l'époque pour combiner mécanique et électricité au service de l'automatisation des calculs.

## Les débuts de l'ère électronique en informatique

La seconde moitié des années 1940 marque l'entrée de l'informatique dans l'ère de l'électronique. Le passage de l'électromécanique à l'électronique marque une rupture décisive dans l'histoire de l'informatique. Là où les calculateurs électromécaniques reposaient sur des relais à commutation lente et sujets à l'usure, les dispositifs électroniques — d'abord à lampes à vide, puis à transistors — permettent des vitesses de calcul bien supérieures, sans pièces mobiles. Cette transformation technologique autorise des machines plus rapides, plus compactes et plus fiables, rendant possible le développement des premiers ordinateurs modernes. C'est à partir de ce basculement que l'informatique entre véritablement dans l'ère industrielle.

Entre 1945 et 1948, quatre jalons majeurs illustrent les progrès rapides de cette période, depuis les premiers calculateurs à lampes jusqu'aux premiers ordinateurs à programme enregistré.

### ENIAC (1945)

Mis en service en 1945, l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) est le premier ordinateur numérique entièrement électronique

opérationnel. Construit avec près de 18 000 tubes à vide, il offrait une vitesse de calcul sans précédent pour l'époque. Cependant, son programme n'était pas stocké en mémoire : il devait être configuré manuellement par des branchements de câbles et des commutateurs, ce qui pouvait prendre plusieurs jours pour le reprogrammer. Pour plus d'information voir la partie 5.1 page 73.

## IBM SSEC (1948)

Annoncé publiquement par IBM le 27 janvier 1948, le *Selective Sequence Electronic Calculator* était un calculateur électromécanique combinant circuits électroniques et relais. Il possédait plusieurs caractéristiques d'une architecture à programme enregistré et fut la première machine à traiter ses propres instructions comme des données modifiables en cours de calcul, bien qu'il ne fût pas entièrement électronique. Cette réalisation a montré la faisabilité d'un contrôle de programme plus flexible, prélude aux ordinateurs à programme stocké.

## Reprogrammation de l'ENIAC (1948)

Le 16 septembre 1948, une démonstration marquante montra l'ENIAC modifié exécutant un programme enregistré en mémoire plutôt que câblé. Grâce à l'ajout d'un mécanisme de stockage d'instructions (en utilisant les tableaux de fonctions de l'ENIAC comme mémoire morte), le calculateur put être reprogrammé par simple réglage de ses interrupteurs, ramenant le temps de reconfiguration de plusieurs jours à quelques heures. Cette expérience confirma l'intérêt de l'architecture à programme stocké sans nécessiter de construire une machine entièrement nouvelle.

## Manchester Baby (1948).

Enfin, à l'automne 1948, l'Université de Manchester mit en fonctionnement la première machine conforme au plan de l'EDVAC de von Neumann (architecture à programme stocké). Le *Manchester Small-Scale Experimental Machine*, surnommé « Baby », exécuta le 21 juin 1948 le premier programme entièrement stocké en mémoire vive. Cette machine à lampes (550 tubes environ) valida le concept de mémoire réinscriptible (tubes de Williams) pour conserver données *et* instructions, préfigurant le successeur *Manchester Mark I* opérationnel en 1949. Ce jalon marque ainsi l'avènement de l'architecture séquentielle moderne des ordinateurs, basée sur le stockage du programme en mémoire.

Après ce riche parcours historique, il apparaît clairement que l'informatique moderne trouve ses racines dans des inventions et des idées bien antérieures à l'ère des ordinateurs électroniques. De la nécessité de compter les moutons aux machines analytiques de Babbage, chaque avancée a contribué à la construction de nos systèmes numériques actuels. Cette genèse démontre que l'informatique n'est pas née ex nihilo, mais s'est construite par des progrès progressifs et des révolutions conceptuelles.

## CHAPITRE 3

### QUELQUES PIONNERS

*L'histoire de l'informatique moderne est jalonnée de figures emblématiques qui ont posé les bases de concepts fondamentaux et influencé durablement le développement de cette discipline. En effets, les idées sont parfois comme des cerfs-volants sans des hommes pour tenir la ficelle, ils peuvent s'échouer à jamais dans les abîmes de la mer ou s'effondrer sur la plage. Des visionnaires tels que Charles Babbage et Ada Lovelace ont ouvert la voie à l'ère des machines programmables, tandis que des théoriciens comme Alan Turing et Claude Shannon ont jeté les fondations de la calculabilité et de la théorie de l'information. Et que dire de Von Neumann géniteur ou accoucheur de l'ordinateur moderne. Ces pionniers, par leurs contributions uniques, ont permis à l'informatique de passer du stade d'idée abstraite à celui de technologie révolutionnaire. Dans cette section, nous explorerons leurs travaux et leur héritage, qui continue d'inspirer le monde scientifique et technologique aujourd'hui.*

### 3.1 Charles Babbage : une machine analytique

*Charles Babbage* (1791–1871), mathématicien britannique excentrique, est considéré comme l'un des pionniers de l'informatique théorique et appliquée. Issu d'une famille aisée — son père était un banquier londonien prospère — Babbage consacre sa vie à la science, explorant des domaines variés comme l'ingénierie ferroviaire, la climatologie par dendrochronologie, l'actuariat, et les statistiques sociales.<sup>1</sup>

Dans les années 1820, avec l'astronome *John Herschel*, il constate que les tables mathématiques utilisées en navigation et astronomie sont entachées d'erreurs humaines. Il conçoit alors la *machine à différences* (*Difference Engine*), un dispositif mécanique destiné à générer automatiquement des tables numériques fiables. Bien que la première version (composée de 25 000 pièces) ne soit jamais achevée en raison de difficultés techniques et de financements, elle marque une première étape vers l'automatisation du calcul.

Son ambition se concrétise pleinement dans la conception de la **machine analytique** (voir *La machine analytique de Babbage* à la page 26), élaborée dès les années 1830. Il s'agit du premier véritable concept d'*ordinateur programmable* universel. Ce projet, bien qu'inachevé matériellement, introduit pour la première fois les composantes fondamentales de l'architecture des ordinateurs :

- une unité arithmétique (le “moulin”) pour effectuer les calculs,
- une mémoire pour stocker les données et résultats intermédiaires,
- une unité de contrôle pour orchestrer l'exécution des opérations

La machine analytique devait recevoir ses instructions via des cartes perforées — inspirées du métier à tisser de Jacquard — et permettre l'exécution de **boucles** et de **tests conditionnels** (IF, THEN, LOOP), anticipant les structures de contrôle des langages de programmation modernes<sup>2</sup>.

Son influence s'est amplifiée grâce à la collaboration d'*Ada Lovelace*, mathématicienne visionnaire, qui rédige le premier **algorithme destiné à une machine**. Elle saisit la portée symbolique de l'œuvre de Babbage :

---

1. **Climatologie par dendrochronologie** : méthode d'étude du climat passé à partir des cernes de croissance des arbres, qui reflètent les conditions climatiques annuelles (température, précipitations).

**Actuariat** : discipline qui applique les mathématiques des probabilités et les statistiques à l'évaluation et à la gestion des risques en assurance, finance et retraite.

2. Contrairement aux machines arithmétiques contemporaines, la machine analytique n'était pas figée dans son fonctionnement. Elle proposait une logique conditionnelle et répétitive, condition sine qua non de tout système programmable.

au-delà des calculs numériques, la machine pouvait manipuler des symboles selon des règles — une idée fondatrice de l'informatique moderne.

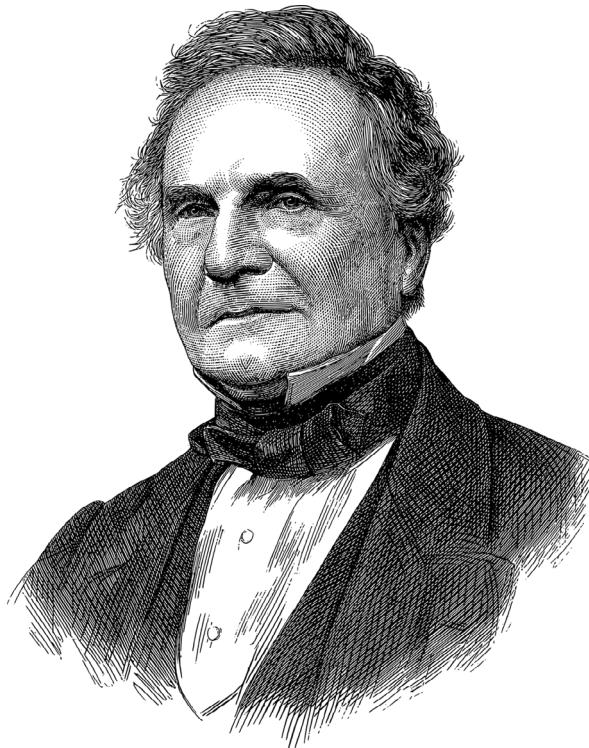


FIGURE 3.1 – Charles Babbage  
Licence : Libre de droits, image issue de Pixabay.

Par ailleurs, Babbage contribue également à la **cryptanalyse** [4] : il parvient à casser le chiffre de Vigenère, réputé incassable depuis le XVI<sup>e</sup> siècle, en appliquant une méthode d'analyse fréquentielle purement logique, sans machines ni outils mathématiques avancés. Il anticipe ainsi des techniques que l'on retrouvera au XX<sup>e</sup> siècle dans les travaux d'*Alan Turing* et les premières cyberanalyses.

Malgré l'absence de réalisation concrète de ses machines, l'œuvre théorique de Babbage constitue un jalon essentiel dans la genèse de l'informatique. Elle fusionne les idées issues des machines arithmétiques, des automates mécaniques et des dispositifs programmables pour proposer une vision révolutionnaire : celle d'un calculateur universel gouverné par des instructions abstraites.

## 3.2 Ada Lovelace, première programmeuse

*Ada Lovelace*, mathématicienne britannique, est souvent qualifiée de première programmeuse pour ses travaux sur la machine analytique de Charles Babbage. Fille du poète Lord Byron, Lovelace a développé très tôt un intérêt pour les sciences et les mathématiques. Fascinée par les concepts de Babbage, elle comprend que la machine analytique ne se limite pas aux simples calculs arithmétiques.

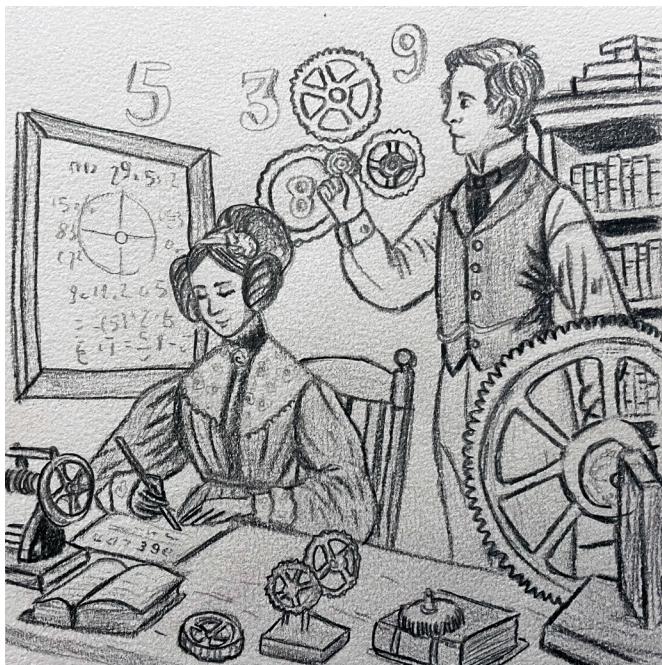


FIGURE 3.2 – Ada Lovelace et Charles Babbage

Auteur : Inès Al Hamdani — Travail personnel. Licence : CC BY-SA 3.0.

Dans ses notes, elle conçoit le premier programme informatique pour calculer les nombres de Bernoulli, une série mathématique complexe. Dans ce programme, Lovelace spécifie que certaines instructions doivent être répétées jusqu'à l'obtention d'un certain résultat. Ce mécanisme de répétition, que l'on appelle aujourd'hui une « boucle », est fondamental en programmation, car il permet d'automatiser des opérations répétitives sans que l'utilisateur n'ait à intervenir manuellement. Par exemple, grâce à la boucle, un programme peut additionner une série de nombres, trier des éléments, ou parcourir des listes jusqu'à atteindre une condition donnée. L'introduction de la boucle par Lovelace représente un saut conceptuel majeur,

car elle montre une compréhension profonde de la puissance des machines programmables. Elle envisage un processus par lequel une machine peut exécuter des tâches complexes de manière autonome, répétant des calculs jusqu'à ce qu'un critère soit rempli.

Au-delà de ce programme, Lovelace a une vision remarquable des possibilités offertes par les machines programmables. Elle imagine que la machine analytique pourrait manipuler des symboles autres que les chiffres, comme des notes de musique, ouvrant ainsi la voie à une informatique capable de traiter des informations variées. Sa perspective dépasse celle de son époque, où les machines étaient uniquement perçues comme des instruments de calcul. Ada Lovelace voit dans la machine analytique le potentiel de transformation de l'information sous toutes ses formes, et elle formule des idées sur la manière dont les machines pourraient, un jour, exécuter des tâches complexes et créatives.

Grâce à sa compréhension avancée de la programmation, Lovelace pose les bases d'un domaine qui ne prendra pleinement forme que plus d'un siècle plus tard. Son intuition sur la capacité des machines à manipuler des informations variées préfigure les développements en informatique que des figures comme *Alan Turing* exploreront plus tard. Turing, inspiré par ces concepts, ira plus loin en élaborant une théorie formelle de la calculabilité, qui deviendra l'un des fondements théoriques de l'informatique moderne.

### 3.3 Alan Turing et la théorie de la calculabilité

Dans les années 1930, *Alan Turing*, un mathématicien britannique, révolutionne l'informatique en développant le concept de *machine de Turing*, un modèle abstrait qui définit les limites du calcul mécanique.

Le nom de « machine de Turing » a été donné par les chercheurs et la communauté scientifique en son hommage. Sa machine est capable d'exécuter des calculs en suivant une séquence d'instructions, et elle peut simuler n'importe quel algorithme, posant les bases de la théorie de la calculabilité. Ce concept introduit l'idée que certaines opérations logiques et mathématiques peuvent être résolues mécaniquement, mais aussi que certaines limites existent dans ce que les machines peuvent accomplir, ce qui marque une avancée théorique majeure pour l'informatique.

La question qu'il s'est posé est « Tout est-il calculable ? ».

Pour cela il introduit le concept de critère d'arrêt en posant la question fondamentale de la décidabilité des problèmes, c'est-à-dire la capacité d'une machine à déterminer si une opération aboutira à un résultat fini ou continuera indéfiniment. Cette question, étudiée dans les années 1930, est connue sous le nom de **problème de l'arrêt**. Turing voulait savoir s'il

était possible de concevoir un algorithme général permettant de déterminer si un programme finira par s'arrêter ou s'il continuera à tourner sans fin pour une tâche donnée.

C'est pour résoudre cette question, qu'il a inventé sa machine, un dispositif théorique capable de simuler le fonctionnement de tout algorithme. En utilisant cette machine, il démontre qu'il est impossible de créer un algorithme universel capable de déterminer, pour chaque programme et chaque entrée, si le programme s'arrêtera ou non. Cette démonstration prouve qu'il existe des problèmes non décidables et que certaines opérations ne possèdent pas de critère d'arrêt clair.

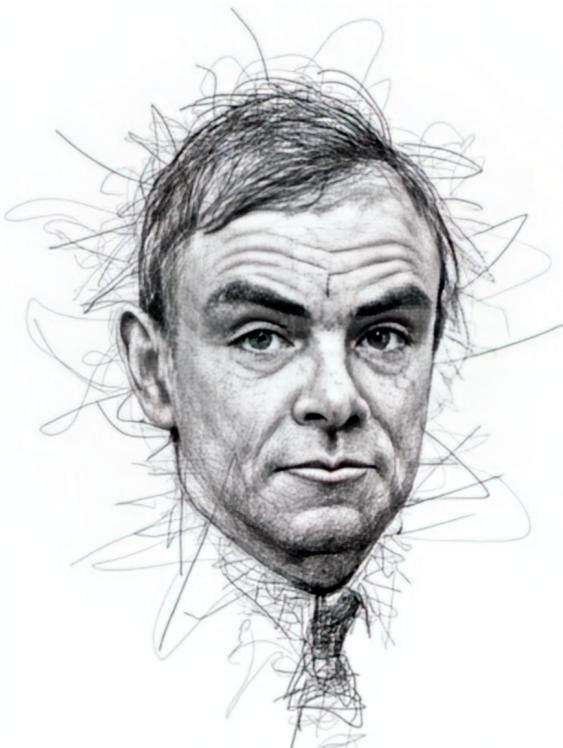


FIGURE 3.3 – Alan Turing

Auteur : Sébastien Inion. Licence : CC BY-SA 3.0.

A noter que si ce dispositif est entièrement théorique, par la suite, des implémentations verront le jour. Par exemple les automates cellulaires, tels que le célèbre Jeu de la vie de Conway, sont également inspirés des idées de Turing et sont parfois appelés « machines de Turing universelles ». Dans ces systèmes, un ensemble simple de règles détermine l'évolution d'un motif initial sur une grille. Des règles simples peuvent générer des comportements

complexes, illustrant la puissance de la logique de Turing appliquée aux systèmes dynamiques et distribués<sup>3</sup>

Un autre exemple est *Minecraft* qui peut devenir une machine de Turing. Grâce aux blocs de redstone, les joueurs ont construit dans Minecraft des circuits capables de simuler des opérations logiques et de réaliser des calculs. Avec ces circuits, on peut simuler des éléments de base d'une machine de Turing :

- **Bandé de mémoire** : Les blocs et circuits redstone peuvent être configurés pour stocker des informations, imitant une « bande » de mémoire.
- **Tête de lecture et d'écriture** : En créant des circuits capables de lire et d'écrire des états (on/off) dans les circuits, les joueurs peuvent simuler une tête de lecture-écriture.
- **États et transitions** : Des combinaisons de circuits logiques et de portes peuvent être créées pour simuler des changements d'états, reproduisant les transitions d'une machine de Turing.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, Turing met en pratique ses idées en travaillant sur le projet **Enigma** à *Bletchley Park*, où il développe des méthodes pour décrypter les communications codées de l'armée allemande. En concevant des machines capables de tester automatiquement des milliers de combinaisons pour déchiffrer les messages, Turing contribue directement à l'effort de guerre des Alliés. Ce travail montre comment la théorie de la calculabilité peut être appliquée à des problèmes concrets, comme la cryptographie. Ses travaux en cryptanalyse et en théorie computationnelle posent des bases solides pour les développements futurs en intelligence artificielle et en informatique.

Alan Turing est souvent également considéré comme l'un des pionniers de l'intelligence artificielle (IA), grâce à ses contributions théoriques et pratiques qui ont posé les bases du domaine. En 1950, il publie un article fondateur intitulé « Computing Machinery and Intelligence », dans lequel il pose la question fondamentale : « Les machines peuvent-elles penser ? ». Cet article introduit un concept essentiel pour l'IA moderne : **le test de Turing**. Dans son article, Turing propose une expérience pensée, connue aujourd'hui sous le nom de test de Turing, pour déterminer si une machine peut être considérée comme intelligente. Le test de Turing consiste en un

---

3. Un système distribué désigne un ensemble de machines autonomes interconnectées qui coopèrent pour effectuer des traitements ou gérer des ressources. Chaque nœud possède sa propre mémoire et communique avec les autres via un réseau, sans mémoire partagée ni horloge globale. Ce type de système est utilisé notamment dans les moteurs de recherche, les services cloud, les blockchains ou les applications à haute disponibilité.

jeu d’imitation : une personne interagit via un terminal avec deux interlocuteurs cachés, l’un humain et l’autre une machine. Si, après une série de questions, l’interlocuteur humain ne peut pas distinguer l’humain de la machine, alors la machine est considérée comme ayant passé le test et, selon Turing, peut être qualifiée d’« intelligente ». Le test de Turing marque un tournant, car il propose une définition pratique de l’intelligence artificielle basée sur la capacité d’une machine à imiter le comportement humain. Ce test n’évalue pas l’intelligence en termes de conscience ou de compréhension, mais en termes de capacité à produire des réponses similaires à celles d’un humain. Cette approche pragmatique a inspiré des décennies de recherches en IA.

Alan Turing, en plus de ses contributions à l’informatique théorique et à l’intelligence artificielle, s’est intéressé à des domaines qui relèvent aujourd’hui de l’informatique biologique ou de la biologie mathématique. Dans les dernières années de sa vie, Turing a exploré la question de la morphogenèse, le processus par lequel les formes et les motifs se développent dans les organismes vivants, en appliquant des concepts mathématiques pour expliquer certains phénomènes biologiques. Turing en proposant le concept de machine universelle, une machine capable de simuler toute autre machine, inspire la conception des ordinateurs modernes. Cette idée sera reprise et perfectionnée par *John von Neumann*, qui y ajoutera un concept crucial : le programme enregistré, qui permet aux ordinateurs de stocker les instructions dans la mémoire. Ainsi, la machine de Turing influence directement l’architecture de von Neumann, qui deviendra la norme pour la conception des ordinateurs modernes.

### 3.4 John von Neumann : l’architecte de l’ordinateur moderne

*John von Neumann*, mathématicien et physicien d’origine hongroise, a joué un rôle déterminant dans la formalisation de l’architecture des ordinateurs modernes. En août 1944, une rencontre fortuite sur le quai de la gare d’Aberdeen (Maryland) avec Herman Goldstine, officier de liaison de l’armée pour le projet ENIAC, l’introduit au groupe de recherche de la Moore School of Electrical Engineering à l’université de Pennsylvanie. Là, il collabore avec *John Mauchly*<sup>4</sup> et *J. Presper Eckert*<sup>5</sup> sur le développement de l’EDVAC, successeur de l’ENIAC.

---

4. Voir la biographie page 282

5. Voir la biographie page 278

Au cours de ces travaux, von Neumann rédige le *First Draft of a Report on the EDVAC* en 1945, un document qui synthétise les idées discutées au sein de l'équipe, notamment le concept de programme enregistré. Cependant, ce rapport ne mentionne pas les contributions de Mauchly et Eckert, ce qui suscite des controverses quant à l'attribution de l'architecture dite « de von Neumann ». Cette omission a également eu des implications juridiques, rendant difficile la protection par brevet des travaux antérieurs de *Mauchly* et *Eckert* sur l'ENIAC.



FIGURE 3.4 – John von Neumann

Auteur : U.S. Department of Energy - (1956). Licence : Domaine public.

Le principe fondamental de l'architecture de von Neumann repose sur une idée révolutionnaire pour son époque : **les données et les instructions d'un programme sont stockées ensemble dans une mémoire unique**. Cela permet à l'ordinateur de lire et de modifier son propre code, sans intervention humaine entre chaque tâche.

Cette architecture repose sur quatre blocs fonctionnels, illustrés dans le schéma :

- **La mémoire** contient à la fois les instructions du programme et les données à traiter.

- **L’unité de contrôle** décode les instructions stockées en mémoire et pilote leur exécution.
- **L’unité arithmétique et logique (UAL)** exécute les opérations mathématiques et logiques.
- **Les entrées/sorties** permettent à la machine d’interagir avec son environnement.

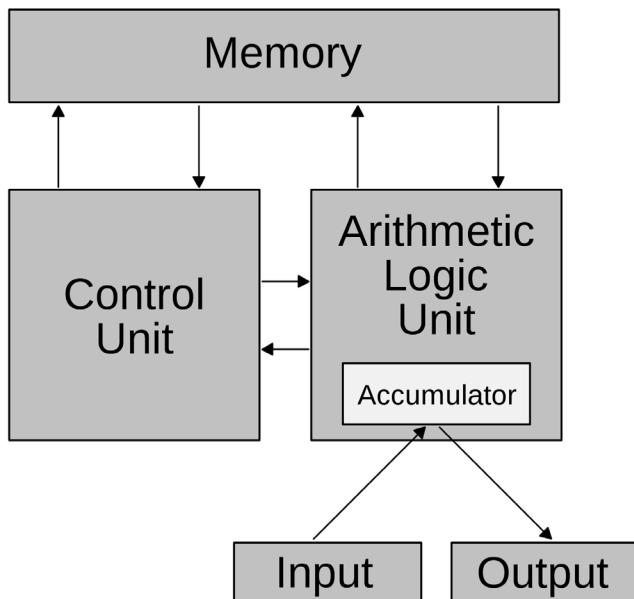


FIGURE 3.5 – Architecture von Neumann

Cette structure a révolutionné l’informatique en offrant une flexibilité et une efficacité accrues, permettant aux ordinateurs de manipuler et d’enchaîner des instructions complexes. Le concept de programme enregistré a également ouvert la voie aux logiciels et à la programmation tels que nous les connaissons aujourd’hui.

En associant ses idées à celles d’*Alan Turing*, von Neumann a contribué à transformer l’informatique en une discipline où les instructions et les données peuvent être manipulées indépendamment du matériel physique. Cette séparation entre matériel et logiciel est cruciale pour l’informatique moderne. Les travaux de von Neumann ont été complétés par ceux de Claude Shannon, qui a développé une théorie mathématique de l’information essentielle pour comprendre comment les données peuvent être transmises et traitées efficacement.

### 3.5 Claude Shannon et la théorie de l'information

*Claude Shannon*, mathématicien et ingénieur, est souvent appelé le père de la théorie de l'information pour ses travaux qui jettent les bases de la communication moderne. En 1948, il publie « A Mathematical Theory of Communication », un article fondateur qui établit les principes de la transmission et du codage des données. Shannon introduit la notion de bit, la plus petite unité d'information, et propose un modèle pour quantifier et optimiser le flux d'information sur un canal de communication.

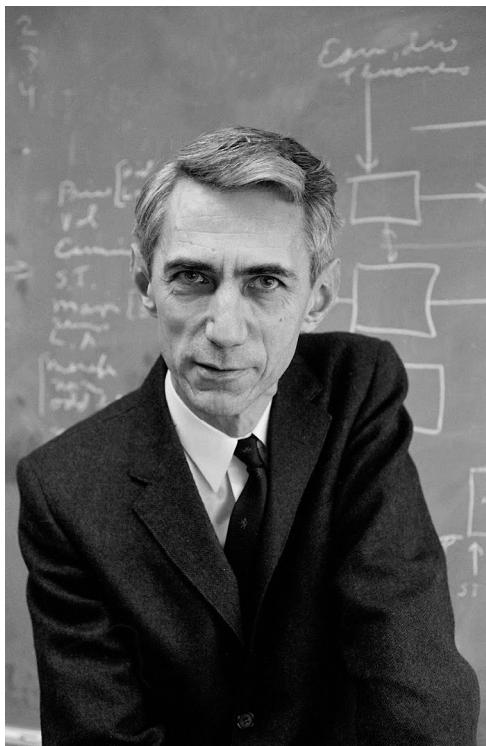


FIGURE 3.6 – Claude Shannon

Auteur : Photographie de Konrad Jacobs. Licence : Domaine public.

Cette avancée permet de calculer la capacité des canaux et de minimiser les erreurs de transmission, un principe crucial pour les télécommunications et l'informatique. La théorie de Shannon a des implications majeures pour le stockage et le traitement de l'information, car elle fournit un cadre mathématique pour comprendre comment les données peuvent être transmises de manière fiable et efficace. En définissant les limites et les capacités des canaux de communication, Shannon permet aux ingénieurs de concevoir

des systèmes plus performants, optimisés pour transmettre un maximum d'informations avec un minimum d'erreurs. Cette théorie est devenue essentielle pour les technologies numériques modernes, de la compression de données à l'internet.

Par exemple, dans les années 1990, l'arrivée des turbocodes<sup>6</sup> — inspirés directement du théorème du canal bruité de Shannon — a permis d'approcher de très près la capacité théorique des canaux sans fil, rendant possible des communications fiables sur des canaux très bruités. Ces codes sont désormais utilisés dans les standards de la 4G, 5G et dans les transmissions spatiales, comme celles de la sonde Rosetta de l'ESA, qui a pu transmettre des images à des millions de kilomètres avec un débit très faible mais une fiabilité quasi parfaite. Cette optimisation de la redondance, en fonction du bruit estimé du canal, repose intégralement sur les concepts de Shannon.

Dans un autre domaine, les CD audio apparus dans les années 1980 utilisent des codes de Reed–Solomon<sup>7</sup>, eux aussi fondés sur la théorie de l'information, pour corriger les erreurs dues aux rayures ou à la poussière sur le disque. Le lecteur peut ainsi reconstruire les données musicales sans défaut audible, démontrant la puissance des outils de Shannon pour rendre l'information robuste à la dégradation physique du support.

L'article de 1948 est publié en deux parties dans le *Bell System Technical Journal*. Il reçoit immédiatement un écho considérable, tant chez les théoriciens que chez les praticiens, et marque le début officiel de ce qui sera appelé la théorie de l'information. Shannon y formalise le processus de communication en modélisant les étapes clés : la source, le codeur, le canal bruité, le décodeur et le récepteur. L'introduction du concept d'entropie permet d'exprimer quantitativement la notion d'information et d'incertitude. Cette mesure, apparentée à l'entropie thermodynamique, inspire même John von Neumann à suggérer le terme, remarquant que cela offrirait un avantage rhétorique : « personne ne comprend vraiment l'entropie, alors vous aurez toujours le dessus dans une discussion ».

Les applications pratiques affluent : la compression de données devient un champ appliqué avec le codage de Huffman<sup>8</sup>, et la transmission fiable

6. Les turbocodes sont des codes correcteurs d'erreurs inventés en 1993. Ils permettent de transmettre des données de manière très fiable, même sur des canaux très bruités, en s'approchant des limites théoriques fixées par Shannon.

7. Les codes de Reed–Solomon sont des codes correcteurs d'erreurs utilisés pour détecter et corriger les erreurs dans les données numériques.

8. Le codage de Huffman est une méthode de compression sans perte qui assigne des codes plus courts aux symboles les plus fréquents. Il permet de réduire la taille des fichiers tout en conservant toutes les données, et est utilisé dans de nombreux formats comme ZIP, PNG ou MP3.

inspire la création des codes correcteurs d'erreurs (code de Hamming, puis plus tard LDPC, turbo-codes, etc.).

Shannon ouvre également la voie à la cryptographie moderne. Dans un article de 1949, il démontre mathématiquement l'inviolabilité théorique du chiffrement par masque jetable (*one-time pad*). Il introduit les notions de confusion et de diffusion, qui deviendront plus tard des piliers de la cryptographie symétrique moderne (DES, AES)<sup>9</sup>.

Mais les idées de Shannon ne sont pas isolées. Elles résonnent avec les travaux d'Alan Turing sur la calculabilité : à la machine abstraite de Turing, Shannon apporte la couche concrète du codage et de la transmission. Turing s'intéresse à ce qu'on peut calculer, Shannon à comment on peut transporter l'information de façon fiable. Ensemble, leurs idées esquisSENT la future informatique : une machine universelle, fonctionnant sur des bits, communiquant efficacement.

L'autre pilier est John von Neumann, qui, en formalisant l'architecture des ordinateurs à programme enregistré (EDVAC), réalise la synthèse entre calcul et traitement de données binaires. Shannon fournit le langage électronique de ces circuits logiques, par ses travaux sur l'algèbre de Boole appliquée à l'électronique. Tous trois convergent vers la même vision : une informatique où la logique, l'information et le matériel s'entrelacent.

En reliant l'information au calcul, Shannon pose les fondements de l'informatique moderne. Ses idées, en association avec les concepts de calculabilité de Turing et l'architecture de von Neumann, constituent la trame théorique sur laquelle repose l'ensemble de l'informatique et des technologies de communication aujourd'hui. Cette alliance de rigueur mathématique, de vision théorique et d'applications pratiques reste, aujourd'hui encore, un modèle de pensée scientifique au service de l'innovation.

---

9. La cryptographie symétrique utilise une même clé pour chiffrer et déchiffrer un message. Le DES (Data Encryption Standard) a été largement utilisé à partir des années 1970, puis remplacé par l'AES (Advanced Encryption Standard) au début des années 2000 pour plus de sécurité. Ces algorithmes reposent sur des principes de confusion (qui rend complexe la relation entre la clé et le texte chiffré, souvent réalisée par des substitutions.) et de diffusion (qui disperse les redondances du message clair dans le texte chiffré souvent réalisée par des permutations) formalisés par Shannon.



## CHAPITRE 4

### LES INVENTIONS FONDATRICES DE L'INFORMATIQUE

*L'histoire de l'informatique et de l'électronique est jalonnée d'inventions révolutionnaires qui ont bouleversé notre façon de concevoir et d'utiliser les technologies. Derrière chaque avancée majeure se cachent des composants clés qui ont permis d'accroître la puissance de calcul, de miniaturiser les circuits et d'améliorer l'efficacité énergétique des dispositifs électroniques. Dans ce chapitre, nous explorerons les grandes découvertes qui ont façonné le monde moderne, depuis les premières lampes à vide, qui ont ouvert la voie aux premiers ordinateurs, jusqu'à la carte à puce, élément fondamental de la sécurité numérique actuelle. Nous verrons comment l'invention du transistor et l'apparition du circuit intégré ont marqué le début de la micro-électronique, permettant la naissance du microprocesseur, pilier de l'informatique contemporaine. Enfin, nous nous intéresserons aux innovations essentielles comme les transistors CMOS, qui ont rendu les circuits plus performants et économies en énergie, ou encore le laser, dont les applications s'étendent des télécommunications à la lecture optique. Chaque invention présentée dans ce chapitre a contribué, à sa manière, à façonner le monde numérique dans lequel nous vivons aujourd'hui.*

## 4.1 Lampe à vide

### Fleming invente le tube diode

L'ère de l'électronique commence en 1904<sup>1</sup> par l'invention de la lampe diode, par l'ingénieur britannique *John Ambrose Fleming*. Ce composant, aussi appelé tube à vide, était constitué d'un filament chauffant (la cathode) et d'une plaque métallique (l'anode) enfermés dans un tube de verre sous vide. En utilisant l'effet thermoïonique – le phénomène par lequel un filament chauffé émet des électrons – Fleming a conçu un dispositif capable de redresser le courant alternatif<sup>2</sup>, transformant ainsi l'énergie électrique en un flux unidirectionnel. Comme on peut le voir sur la figure 2.4.

Cette innovation, à l'origine destinée aux systèmes de télécommunication comme la radio, posait les bases d'une nouvelle ère de l'électronique.

Pourquoi est-ce important de pouvoir transformer un courant alternatif en courant continue ?

En réalité, les signaux radio sont transmis sous forme d'ondes électromagnétiques, modulées soit en amplitude (AM), soit en fréquence (FM). Ces signaux sont, par nature, de type alternatif. Pour en extraire l'information utile — comme la voix, la musique ou les données —, il faut isoler l'enveloppe du signal, c'est-à-dire la forme globale qui contient le message. Cette opération n'est possible qu'après avoir redressé le signal : c'est-à-dire transformé l'alternatif en un signal unidirectionnel, généralement à l'aide d'un dispositif à diodes. C'est là qu'intervient le redresseur, un composant fondamental dans la chaîne de réception radio, et plus largement dans l'électronique moderne.

### Lee De Forest et le tube triode

Quelques années plus tard, en 1906, *Lee De Forest*, un inventeur américain, améliora le concept de la lampe diode en y ajoutant une grille métallique entre la cathode et l'anode. C'est une idée géniale car cette nouvelle version, appelée lampe triode, permettait non seulement de redresser le courant, mais aussi d'amplifier les signaux électriques.

1. Parfois on trouve l'identification de l'électron en 1897 par *Sir Joseph John Thomson* comme point de départ de l'électronique (Le terme « électronique » trouve son origine dans le mot « électron », la particule élémentaire portant une charge négative qui joue un rôle central dans les phénomènes électriques et magnétiques)

2. La diode permet de ne laisser passer le courant électrique que dans un seul sens. Appliquée à un courant alternatif, elle bloque l'alternance négative et laisse passer l'alternance positive, produisant ainsi un courant unidirectionnel. Ce phénomène est appelé redressement.

Essayons de comprendre le fonctionnement de cette lampe triode !

Lorsque la cathode est chauffée, elle émet des électrons. Ces électrons sont attirés par l'anode en raison de sa charge positive, générant un courant électronique entre la cathode et l'anode. La grille agit comme une barrière (gate) électrostatique entre la cathode et l'anode. En appliquant une tension (positive ou négative) à la grille, il est possible de réguler le flux d'électrons qui atteint l'anode. Si la tension est négative sur la grille : Elle repousse les électrons émis par la cathode, réduisant ou bloquant complètement le flux vers l'anode. Si la tension est positive sur la grille : Elle attire les électrons, augmentant le flux vers l'anode. Ainsi, en modifiant la tension appliquée à la grille, on peut contrôler précisément le courant qui circule entre la cathode et l'anode. Les triodes sont donc rapidement devenues indispensables dans la radio, la télévision et bien sûr, dans le domaine de l'informatique. Car au-delà de leur rôle dans les télécommunications, les tubes à vide trouvaient une application inattendue : la manipulation de signaux logiques.

La triode apporte une contribution absolument fondamentale à l'informatique — elle marque le passage à l'électronique active, c'est-à-dire à des systèmes capables non seulement de commuter, comme la diode, mais aussi d'amplifier les signaux, et donc de traiter l'information. En effet grâce à l'amplification elle permet le traitement de signaux logiques dans des circuits plus complexes.

Les tubes à vide devinrent les composants centraux des premiers ordinateurs électroniques. Comme pour l'**ENIAC** (Electronic Numerical Integrator and Computer), achevé en 1945. Il combinait des diodes et des triodes à vide : les premières servaient à orienter le courant dans les circuits logiques, tandis que les secondes jouaient un rôle actif dans le traitement de l'information, en permettant d'amplifier, commuter et mémoriser des bits. Cette architecture entièrement électronique marquait une rupture avec les machines électromécaniques. Cependant, cette technologie n'était pas sans limites. Les tubes à vide étaient volumineux, gourmands en énergie, et surtout peu fiables : ils avaient tendance à surchauffer et à tomber en panne fréquemment. Ces inconvénients allaient motiver la recherche de nouvelles technologies, menant à l'invention du transistor.

## 4.2 Le transistor

L'invention du transistor<sup>3</sup> en 1947 par *John Bardeen, Walter Brattain et William Shockley* au sein des laboratoires Bell marque un tournant décisif

---

3. C'est John R. Pierce, des Bell Laboratories qui forge le nom de transistor, contraction de *transfer* et de *resistor* (résistance de transfert).

dans l'histoire de l'électronique et, par extension, dans celle de l'informatique. Le transistor, à l'origine, est un dispositif expérimental conçu pour résoudre certaines des principales limites des tubes à vide. Le transistor à pointe de contact, premier prototype du genre, montrait une capacité remarquable à amplifier les signaux et à fonctionner comme un commutateur électronique, tout en étant infiniment plus petit et plus fiable que les tubes à vide. Ce premier modèle était construit à partir d'un cristal de germanium<sup>4</sup>, soigneusement purifié, et de fines pointes métalliques en or.

### les éléments principaux :

- **Un cristal de germanium**, qui sert de support et de milieu conducteur pour les charges électriques.
- **Deux pointes métalliques fines**, jouant des rôles spécifiques : l'émetteur injecte les charges électriques, tandis que le collecteur les récupère.
- **Une base métallique**, placée sous le cristal, qui assure le contact électrique de l'ensemble.

### Fonctionnement d'un transistor

Le fonctionnement du transistor repose sur les propriétés des semi-conducteurs et sur le contrôle des porteurs de charge (électrons et trous) dans le matériau. Pour rappel, un semi-conducteur est un matériau dont la conductivité électrique se situe entre celle des conducteurs (comme les métaux) et celle des isolants (comme le verre). Sa capacité à conduire le courant peut être modifiée en ajoutant des impuretés (dopage) ou en appliquant des champs électriques, ce qui est le principe fondamental ici. En se limitant à son rôle d'interrupteur, le fonctionnement du transistor peut être résumé ainsi :

- Quand on n'envoie pas de courant à la base : le courant entre l'émetteur et le collecteur ne passe pas.
- Quand on envoie un petit courant à la base : le courant entre l'émetteur et le collecteur passe librement.

### Limites du transistor à pointe

Cependant, le transistor à pointe de contact présentait des limites pratiques : il était fragile, difficile à fabriquer en masse, et sujet à des instabilités électriques. Peu de temps après, en 1951, *William Shockley*, un des

---

4. Le germanium a été découvert en 1886 par le chimiste allemand *Clemens Winkler*, qui lui a donné ce nom en hommage à l'Allemagne (Germania en latin).

co-inventeurs du transistor, a inventé le *transistor bipolaire* (ou transistor à jonction), offrant une solution encore plus pratique et robuste pour les applications électroniques. Ce modèle utilise des matériaux semi-conducteurs (comme le germanium au début, puis plus tard le silicium<sup>5</sup>) pour créer deux jonctions entre trois couches de matériaux dopés : une base, un émetteur et un collecteur. Cette conception simplifiait la fabrication et permettait une production en série, rendant la technologie accessible à l'industrie. C'est ce que fit la société *Texas Instruments*, qui en 1952 acquit la licence du transistor et lança une véritable production industrielle de transistors en silicium en 1954. Ces composants furent utilisés dans des amplificateurs audio et les premières radios portatives, marquant le début de l'électronique grand public.

## Les avantages du transistor par rapport aux tubes

On peut citer :

- **Taille réduite** : Contrairement aux tubes à vide volumineux, les transistors sont beaucoup plus petit, ce qui a permis de miniaturiser considérablement les circuits électroniques.
- **Consommation énergétique faible** : Les transistors nécessitent beaucoup moins d'énergie<sup>6</sup>, rendant les dispositifs électroniques plus économies et générant moins de chaleur.
- **Durée de vie accrue** : Les transistors sont constitués de matériaux solides (semi-conducteurs) et ne contiennent pas de filaments fragiles comme les tubes à vide, ce qui améliore leur fiabilité.
- **Production de masse économique** : Une fois maîtrisé, le processus de fabrication des transistors s'est avéré bien plus économique que celui des tubes à vide, rendant l'électronique accessible à une échelle sans précédent.

La transition vers les ordinateurs électroniques de deuxième génération se fera avec le transistor, comme pour l'IBM 7090, où il remplaçait les tubes à vide dans les circuits logiques et les amplificateurs de signaux. Dans les systèmes informatiques, le transistor fonctionne comme un commutateur

5. Le silicium a remplacé le germanium, notamment pour des raisons de coût. Abondant et économique, le silicium est l'un des éléments les plus répandus sur Terre, principalement présent sous forme de sable ou de quartz.

6. Dans un tube à vide, une grande partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur, notamment à cause du filament et des résistances internes élevées. Les transistors ont une résistance interne très faible lorsqu'ils sont en mode conduction, ce qui minimise les pertes d'énergie sous forme de chaleur.

électronique, tout comme les tubes à vide, mais avec une rapidité, une fiabilité et une efficacité énergétique bien supérieures. Il est capable de représenter les deux états binaires fondamentaux : 0 (lorsqu'il bloque le courant) et 1 (lorsqu'il laisse passer le courant). L'intégration des transistors dans des circuits électroniques a également permis d'augmenter la vitesse de calcul des machines. Alors qu'un tube à vide mettait des millisecondes à commutier, un transistor pouvait accomplir la même tâche en microsecondes, voire en nanosecondes dans les générations suivantes. Le remplacement des tubes à vide par les transistors n'a pas été instantané. Les premières machines à transistors ont vu le jour dans les années 1950 et se sont progressivement imposées dans les années 1960. Cette transition a nécessité des adaptations importantes dans la conception des circuits, mais elle a rapidement été justifiée par les bénéfices indéniables des transistors. Cependant, assembler des milliers de transistors dans des systèmes complexes restait un défi. C'est là qu'interviennent les circuits imprimés, permettant de relier ces composants de manière compacte et fiable.

### 4.3 Le circuit imprimé

Inventé en 1936 par l'ingénieur autrichien *Paul Eisler*, le circuit imprimé (ou PCB, Printed Circuit Board) a marqué une avancée importante dans la conception des systèmes électroniques. Cette innovation permettait de remplacer les connexions filaires traditionnelles par des pistes conductrices imprimées sur une plaque isolante, souvent en bakélite. Avant l'invention du circuit imprégné, les composants électroniques comme les résistances, les condensateurs et les transistors étaient connectés entre eux à l'aide de simples fils, un processus laborieux, encombrant et sujet aux erreurs. Cependant, bien qu'inventé avant les transistors, le circuit imprimé n'a réellement révélé son potentiel que dans les années 1950, grâce à l'invention et à la démocratisation des transistors. Une invention précoce mais sous-utilisée. Dans les années 1930 et 1940, les circuits électroniques étaient principalement basés sur des tubes à vide, des composants encombrants et fragiles. Les circuits imprimés étaient certes utilisés dans des équipements militaires, comme les radios ou les dispositifs de détection pendant la Seconde Guerre mondiale, mais leur adoption restait limitée. La raison était simple : les tubes à vide ne permettaient pas de tirer pleinement parti des avantages des circuits imprimés, car les systèmes restaient volumineux et complexes. Les circuits imprimés en regroupant efficacement des composants comme les transistors ont permis une belle avancée dans la réduction de la taille des appareils et dans la fiabilité. Cependant, les ingénieurs rêvaient de miniaturiser davantage encore ces systèmes. Ce rêve s'est concrétisé avec l'invention

des circuits intégrés, où les composants électroniques sont intégrés sur une seule puce de semi-conducteur.

## 4.4 Le circuit intégré

L’invention du transistor comme on vient de le voir a été une étape cruciale dans l’électronique et dans l’évolution technologique des ordinateurs, permettant la miniaturisation des composants et une fiabilité accrue. Cependant, à mesure que les systèmes électroniques devenaient plus complexes, et donc demandait de plus en plus de transistors, une nouvelle limite est rapidement apparue : celle de l’assemblage manuel de milliers de transistors et d’autres composants pour construire un circuit. Chaque connexion individuelle augmentait le risque de défaillance et le coût de fabrication. Cette contrainte a conduit à une innovation encore plus révolutionnaire : le circuit intégré.

### Les premiers circuits intégrés

En 1952, Geoffrey Dummer, un ingénieur britannique, a proposé pour la première fois l’idée de regrouper plusieurs composants électroniques (transistors, résistances, condensateurs) sur une seule puce de semi-conducteur. Bien qu’il n’ait pas réussi à concrétiser cette idée, son concept a inspiré les travaux qui ont suivi. Ce n’est qu’en 1958 que *Jack Kilby*, ingénieur chez *Texas Instruments*, a réalisé le premier circuit intégré fonctionnel. Il utilisait du germanium comme matériau semi-conducteur et regroupait un transistor, une résistance, et un condensateur sur une seule puce. Son prototype, bien que rudimentaire, a démontré qu’il était possible de fabriquer des circuits électroniques compacts et intégrés.

Ce qu’il faut bien comprendre, c’est que l’objectif ici était de concevoir un composant d’un seul bloc, sans fils de connexion externes. Pour cela, il fallait superposer plusieurs couches : une couche isolante, une couche conductrice, et des couches dédiées aux fonctions de redressement et d’amplification. Kilby a reçu le prix Nobel de physique en 2000, en reconnaissance de son rôle pionnier dans l’invention du circuit intégré.

En 1959, *Robert Noyce*, de *Fairchild Semiconductor*, a perfectionné l’idée en utilisant du **silicium**, un matériau plus adapté que le germanium en raison de sa disponibilité et de sa stabilité thermique et de son coût nettement inférieur. Il a également introduit des connexions métalliques déposées directement sur la puce, simplifiant ainsi le processus de fabrication.

## Apports du circuit intégré

Les circuits intégrés répondaient à trois besoins fondamentaux : miniaturiser les systèmes électroniques, réduire les coûts tout en améliorant la fiabilité, et s'adapter à la complexité croissante des applications.

## Composition d'un circuit intégré

Un circuit intégré<sup>7</sup> est composé de trois éléments principaux :

- **Les transistors** : Élément clé pour le calcul et la commutation logique. Les transistors sont organisés pour former des portes logiques (AND, OR, NOT), réalisant des opérations comme l'addition de nombres binaires ou la comparaison de bits.
- **Les résistances** : Contrôlent le flux de courant pour éviter des dysfonctionnements et stabilisent le fonctionnement des transistors.
- **Les condensateurs** : Permettent de filtrer les parasites, de stocker des charges (exemple : mémoire DRAM), et de stabiliser les signaux d'horloge pour synchroniser les calculs dans les processeurs.

C'est l'apparition du circuit intégré à la fin des années 1950 qui rend possible la fabrication des mini-ordinateurs . En regroupant plusieurs composants sur une seule puce, cette innovation permet une miniaturisation, une baisse des coûts et une plus grande fiabilité. Elle marque une rupture décisive avec les ordinateurs centraux à base de composants discrets.

Les circuits intégrés ont non seulement permis de miniaturiser les systèmes électroniques, mais aussi de rendre l'électronique accessible à une échelle sans précédent. Ils sont à la base des technologies modernes, des microprocesseurs aux mémoires, et continuent d'évoluer pour répondre aux besoins croissants de performance et de complexité.

## 4.5 Les transistors CMOS

Inventés en 1963 par *Frank Wanlass* chez Fairchild Semiconductor, les transistors CMOS (pour *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) reposent sur une utilisation complémentaire de deux types de transistors : le **PMOS** (canal P) et le **NMOS** (canal N).

---

7. Les circuits intégrés ont évolué pour regrouper ces composants en des structures spécialisées, optimisées pour des tâches précises. Par exemple, les microprocesseurs pour le calcul, les mémoires (RAM, ROM) pour le stockage, et les circuits d'interface pour la communication entre les blocs.

## Le principe des CMOS

Les transistors PMOS et NMOS fonctionnent de manière opposée :

- Le **PMOS** est activé lorsqu’un niveau de tension faible (*logique 0*) est appliqué à sa porte. Il permet alors au courant de circuler.
- Le **NMOS** est activé lorsqu’un niveau de tension élevé (*logique 1*) est appliqué à sa porte. Il permet lui aussi au courant de circuler.

Dans un circuit CMOS, ces deux types de transistors sont combinés de façon à ce que, à tout moment, l’un des deux transistors soit éteint. Cela empêche le courant de circuler inutilement, ce qui réduit considérablement la consommation énergétique.

## Les avantages des transistors CMOS

Les transistors CMOS ont apporté des progrès par rapport aux technologies précédentes (comme les circuits TTL ou NMOS seuls) :

- **Consommation énergétique extrêmement faible** : Les circuits CMOS consomment pratiquement aucune énergie en mode statique, c'est-à-dire lorsqu'ils ne changent pas d'état.
- **Densité et miniaturisation** : Ils permettent de regrouper des milliards de transistors sur une seule puce, rendant possible la conception de processeurs modernes. Et cela en grande partie à la réduction de la consommation d'énergie, minimisant la chaleur générée.
- **Réduction de la chaleur** : Grâce à leur faible consommation, les transistors CMOS génèrent beaucoup moins de chaleur, augmentant ainsi la fiabilité des systèmes.
- **Coût de fabrication réduit** : Le processus de fabrication des CMOS, basé sur le silicium, est économique et adapté à la production de masse.
- **Vitesse de fonctionnement** : Ils permettent des commutations rapides entre les états logiques 0 et 1, augmentant la performance des circuits.

## Applications des CMOS

Depuis leur invention, les CMOS sont devenus la technologie dominante dans les circuits intégrés, permettant des avancées majeures dans des domaines variés :

- **Microprocesseurs**
- **Mémoires** : Les technologies RAM et flash utilisent des transistors CMOS pour stocker des données.

- **Capteurs d'image :** Les capteurs CMOS, utilisés dans les appareils photo numériques et les caméras, offrent des performances élevées avec une faible consommation énergétique.
- **Objets connectés :** Les dispositifs IoT (Internet des Objets) exploitent les CMOS pour fonctionner sur batterie pendant de longues périodes.

Les transistors CMOS ont ainsi permis de concevoir des circuits toujours plus rapides, économies et fiables.

## 4.6 Le microprocesseur

En 1971, *Intel*, une jeune entreprise américaine fondée par d'anciens ingénieurs de *Fairchild Semiconductor*<sup>8</sup>, révolutionne l'informatique avec la sortie du **4004**, le premier microprocesseur monolithique au monde. Ce composant est développé pour répondre à une commande spécifique de la société japonaise **Busicom**.

### Le 4004 le premier microprocesseur

L'histoire du 4004 débute en 1969, lorsque *Busicom* (Nippon Calculating Machine Corporation) cherche à développer une nouvelle génération de calculatrices électroniques programmables. Initialement, le projet prévoyait l'utilisation de plusieurs circuits intégrés spécifiques, chacun conçu pour une fonction précise de la calculatrice. Cependant, cette approche augmentait la complexité et les coûts. Lorsque Busicom contacte Intel pour produire ces circuits, *Ted Hoff*, ingénieur chez Intel, propose une solution plus audacieuse : regrouper toutes les fonctions de calcul et de contrôle sur une seule puce. Cette idée ambitieuse, quoique risquée, avait le potentiel de simplifier radicalement la conception du produit tout en réduisant les coûts. Intel accepte ce défi, et le développement est confié à une équipe dirigée par **Federico Faggin**, assisté par *Ted Hoff* et *Stan Mazor*. Après deux ans de recherche et développement intensifs, le **4004** voit le jour, devenant le premier microprocesseur commercialisé au monde. Le 4004 représentait une

---

8. Fondée en 1957 par les « Traitorous Eight », un groupe d'ingénieurs ayant quitté Shockley Semiconductor, *Fairchild Semiconductor* est largement considérée comme l'entreprise fondatrice de la Silicon Valley. Elle a non seulement introduit des innovations majeures dans le domaine des semi-conducteurs, mais a également servi de pépinière pour de nombreuses entreprises technologiques ultérieures, telles qu'*Intel*, *AMD* et *National Semiconductor*. Ce phénomène de prolifération d'entreprises issues de Fairchild a valu à ses anciens employés le surnom de « Fairchildren », illustrant ainsi l'effet multiplicateur de Fairchild sur l'écosystème technologique de la région.

prouesse technologique pour son époque. Voici ses principales caractéristiques :

- **Architecture** : Processeur 4 bits, capable de traiter des données et des instructions codées sur 4 bits. Son nom 4004 provient de nombre de bits.
- **Nombre de transistors** : Environ 2 300 transistors MOS (Metal-Oxide-Semiconductor), gravés avec une précision de 10 micromètres.
- **Fréquence d’horloge** : Fonctionnant à une fréquence maximale de 740 kHz, il pouvait exécuter environ 92 000 instructions par seconde. Il avait la puissance de l’ENIAC et pouvait additionner deux nombres en 10 micro secondes.
- **Capacité mémoire** : Adressait jusqu’à 4 Ko de mémoire ROM pour stocker les programmes, 640 octets de RAM pour les données, et 32 lignes d’entrée/sortie via des registres spécialisés.
- **Taille physique** : Sa puce mesurait seulement 12 mm<sup>2</sup>, une miniaturisation remarquable pour l’époque.

Ces composants travaillaient ensemble pour fournir les fonctionnalités nécessaires à des systèmes complexes, comme les calculatrices électroniques ou les premiers systèmes embarqués. Le 4004 a été initialement conçu pour la calculatrice électronique programmable *Busicom 141-PF*. Cependant, il a rapidement montré son potentiel dans d’autres domaines, comme :

- Le contrôle industriel, en automatisant des processus dans les usines.
- Les systèmes embarqués, ouvrant la voie à des dispositifs électroniques plus compacts.
- Le prototypage électronique, permettant aux ingénieurs de concevoir rapidement des systèmes intégrés.

Il a été produit de 1971 à 1981 par la société *Intel*.

## Les héritiers...

En 1972, Intel franchit une nouvelle étape dans l’évolution des microprocesseurs avec le lancement de l'**8008** , le premier processeur capable de traiter des données sur 8 bits. Successeur direct du 4004, ce microprocesseur ouvrit la voie à des applications plus complexes et marqua une étape essentielle dans la miniaturisation et la puissance des systèmes informatiques. L'*Intel 8008* trouve son origine encore dans une commande mais cette fois de la société *Computer Terminal Corporation* (CTC), qui souhaitait développer un terminal intelligent pour remplacer les terminaux télex utilisés à l’époque. Initialement, CTC avait envisagé de créer sa propre puce, mais a finalement confié la conception à Intel en raison de

leur expertise naissante dans le domaine des microprocesseurs. L'Intel 8008 introduit plusieurs avancées par rapport au 4004, offrant une puissance et une flexibilité accrues :

- **Architecture** : Processeur 8 bits, capable de traiter des instructions et des données sur 8 bits.
- **Nombre de transistors** : Environ 3 500 transistors MOS.
- **Fréquence d'horloge** : Fonctionnant à une fréquence maximale de 500 à 800 kHz.
- **Capacité mémoire** : Adressait jusqu'à 16 Ko de mémoire, une amélioration significative par rapport aux 4 Ko du 4004.
- **Nombre de broches** : 18 broches, une contrainte héritée de la conception d'origine pour CTC, qui limitait les performances et la flexibilité.

Bien que ces caractéristiques puissent sembler modestes par rapport aux standards modernes, elles représentaient une avancée technologique majeure en 1972. Le 8008, initialement conçu pour les terminaux intelligents, trouva rapidement des applications dans d'autres domaines :

- Les premiers micro-ordinateurs amateurs, comme le **Mark-8**, construit par des passionnés d'électronique.
- Les systèmes embarqués, où sa capacité à traiter des données 8 bits était un atout.
- Les équipements industriels, notamment pour l'automatisation et le contrôle.

Cependant, l'Intel 8008 avait ses limitations, notamment en raison de son faible nombre de broches (18), qui restreignait le débit des communications avec la mémoire et les périphériques. Cela incita Intel à développer des modèles plus avancés, comme le **8080** en 1974.

## Le 8080 : parfait pour les micro-ordinateurs

En 1974, Intel dévoile le **8080**, un microprocesseur 8 bits qui marquera une étape décisive dans l'évolution des ordinateurs personnels. Successeur du 8008, il surmonte les limitations de son prédecesseur et ouvre la voie à l'ère des micro-ordinateurs. L'Intel 8080 n'était pas seulement un composant technique : il symbolisait une révolution technologique et culturelle qui allait transformer l'informatique pour toujours. L'Intel 8080 était bien plus puissant que ses prédecesseurs et introduisait des caractéristiques qui en faisaient un choix idéal pour les systèmes informatiques naissants :

- **Architecture** : Processeur 8 bits, capable de traiter des instructions et des données sur 8 bits.

- **Fréquence d’horloge :** Fonctionnait à une fréquence maximale de 2 MHz, offrant des performances multipliées par 10 par rapport au 8008.
- **Capacité mémoire :** Adressait jusqu’à 64 Ko de mémoire, une amélioration significative par rapport au 16 Ko du 8008.
- **Nombre de broches :** Utilisait un boîtier DIP à 40 broches, permettant une connectivité améliorée avec la mémoire et les périphériques.
- **Environnement logiciel :** Compatible avec des langages de haut niveau comme BASIC, facilitant son adoption par les développeurs.

Ces caractéristiques techniques en faisaient un microprocesseur bien adapté aux applications informatiques émergentes, notamment les micro-ordinateurs.

Le véritable impact de l’Intel 8080 s’est concrétisé avec son intégration dans le **Altair 8800**, souvent considéré comme le premier micro-ordinateur personnel. Conçu par *Ed Roberts* de MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems), l’Altair 8800 était initialement destiné aux amateurs d’électronique. Cependant, son prix abordable et son architecture ouverte ont rapidement attiré l’attention d’un public plus large.

## Le Z80 : le processeur de la micro-informatique

Comment ne pas parler du fameux Z80 ? Et ainsi changer de constructeur pour parler de Zilog. Le Zilog Z80 est un microprocesseur 8 bits emblématique, lancé en **1976**, qui a marqué l’histoire de l’informatique personnelle. Conçu par *Federico Faggin*, l’un des créateurs du premier microprocesseur chez Intel, le Z80 a été développé pour être compatible avec l’Intel 8080 tout en offrant des améliorations significatives. Cette compatibilité a permis aux logiciels existants de fonctionner sans modification. Doté d’un jeu d’instructions étendu et d’une architecture optimisée, le Z80 s’est distingué par sa polyvalence et sa performance.

Il a été intégré dans une multitude de micro-ordinateurs des années 1980, tels que le Radio Shack TRS-80, les Sinclair ZX80, ZX81, ZX Spectrum, le standard MSX, les Amstrad CPC, et le PC-88. Sa présence dans ces machines a contribué à démocratiser (à cause du prix bas) l’accès à l’informatique domestique et éducative.

Le Z80 dominera ainsi le marché des microprocesseurs 8 bits pour les micro-ordinateurs et cela jusqu’au milieu des années 1980. Au-delà des ordinateurs personnels, le Z80 a également été utilisé dans des systèmes embarqués, des consoles de jeux et des équipements industriels, témoignant

de sa robustesse et de sa fiabilité. Sa longévité est remarquable : après 48 ans de production, Zilog a annoncé en 2024 la fin de la fabrication du Z80 autonome, marquant la fin d'une ère pour ce processeur légendaire.

## 4.7 Le laser

L'invention du laser en 1960 par *Theodore Maiman* a marqué un tournant décisif dans l'histoire des sciences et de l'ingénierie. Le laser, grâce à sa précision et à la cohérence de sa lumière, s'est rapidement imposé comme un outil polyvalent dans de nombreux domaines, dont l'informatique, où il a joué un rôle important.

### Stockage des données

L'utilisation du laser a révolutionné le **stockage des données** avec l'apparition des disques optiques :

- **1982 : Lancement du CD (Compact Disc)** – Capable de stocker jusqu'à 700 Mo de données, le CD utilise un faisceau laser pour lire les informations gravées sous forme de creux et de plats. Il a démocratisé la distribution de logiciels, de musique et de vidéos.
- **1996 : Introduction du DVD (Digital Versatile Disc)** – Avec une capacité allant jusqu'à 4,7 Go, le DVD devient le standard pour les vidéos haute qualité et les logiciels.
- **2006 : Arrivée du Blu-ray** – Les lasers bleus à courte longueur d'onde permettent d'augmenter la densité de stockage jusqu'à 25 Go par couche, répondant aux besoins de la haute définition et des jeux vidéo.

### Communication et réseaux

Les lasers jouent un rôle central dans les **réseaux de communication**, notamment avec la fibre optique, introduite commercialement dans les années 1970 :

- **1977 : Premiers réseaux de fibre optique commerciaux** – Utilisant des faisceaux laser pour transmettre des données sous forme d'impulsions lumineuses, ces réseaux offrent des vitesses bien supérieures à celles des câbles traditionnels.
- **Années 1990 : Expansion mondiale des réseaux de fibre optique** – Permettant des communications Internet à haut débit sur de longues distances, la fibre devient l'épine dorsale des infrastructures numériques modernes.

Ces avancées ont permis l’émergence de services Internet rapides, des centres de données et du streaming.

## Impression et bureautique

L’invention des **imprimantes laser** dans les années 1970 a transformé l’industrie bureautique :

- **1976 : Première imprimante laser par Xerox** – Offrant une impression rapide et de haute qualité, cette technologie remplace progressivement les imprimantes matricielles.
- **1984 : Lancement de la LaserJet par HP** – Rendant les imprimantes laser accessibles au grand public, elles deviennent rapidement omniprésentes dans les bureaux et les foyers.

## Innovations émergentes

Le laser continue de façonner l’avenir de l’informatique avec des innovations prometteuses :

- **Stockage holographique** : promettant des capacités de plusieurs téraoctets sur des disques de taille similaire aux Blu-ray, il pourrait répondre aux besoins futurs en stockage massif.
- **Calcul quantique** : les lasers sont utilisés pour manipuler les qubits et réaliser des expériences avancées en calcul quantique.

Depuis son invention en 1960, le laser a accéléré la démocratisation des technologies numériques, en permettant un stockage haute densité, des communications rapides via la fibre optique, et des impressions de qualité exceptionnelle. Il reste un pilier des innovations technologiques à venir.

## 4.8 La carte à puce

### Les fondations de la puce électronique

Les premières puces électroniques, développées à la fin des années 1950 par des figures telles que *Jack Kilby* et *Robert Noyce*, ont matérialisé l’idée de condenser sur une seule plaque semi-conductrice l’ensemble des composants nécessaires à un circuit fonctionnel. Ces plaques, appelées circuits intégrés, ont posé les bases d’une transition vers des dispositifs compacts et économiques, capables de remplacer les assemblages de composants discrets encombrants et coûteux.

## L'émergence de la carte à puce

L'idée d'associer une puce électronique à une carte plastique pour créer un support d'information sécurisé est née au début des années 1970. C'est à l'autodidacte *Roland Moreno (1945-2012)*, qu'on doit cette idée d'associer directement ce pavé de silicium sur une carte avec les connexions apparentes. Entre 1974 et 1979 il dépose les brevets de cette technologie permettant de stocker des données numériques sur une puce tout en les protégeant grâce à des mécanismes de sécurité élémentaires. En effet grâce à un appareil on peut y lire et écrire et donc modifier le contenu de la puce. En évoluant vers les cartes à microprocesseur, cette technologie a intégré un processeur capable de traiter des informations directement sur la puce, ouvrant ainsi de nouvelles possibilités pour des applications nécessitant une grande fiabilité et des performances accrues.

## Les applications des cartes à puce

Les cartes à puce se sont imposées dans de nombreux domaines grâce à leur capacité à stocker des données de manière sécurisée et à effectuer des calculs simples. Elles se distinguent par leur robustesse, leur polyvalence et leur faible coût de production. Quelques applications emblématiques incluent :

- **Les transactions bancaires** : Les cartes de paiement modernes, équipées de puces, permettent des transactions rapides et sécurisées grâce à des protocoles cryptographiques avancés.
- **Les télécommunications** : Les cartes SIM (Subscriber Identity Module) ont joué un rôle crucial dans la démocratisation des téléphones mobiles, en assurant l'identification et l'authentification des utilisateurs.
- **Les systèmes d'identification** : Les passeports électroniques et les cartes d'identité nationales utilisent des puces pour stocker et protéger des informations personnelles sensibles.
- **Les transports publics** : Les cartes sans contact, comme celles utilisées dans les réseaux de transport urbains, facilitent l'accès aux services tout en accélérant les transactions.

## Une architecture innovante

Une carte à puce repose sur une architecture hautement intégrée, combinant plusieurs éléments essentiels :

- **Un microprocesseur** : Chargé d'exécuter les calculs nécessaires au fonctionnement des applications.

- **Une mémoire intégrée :** Incluant une ROM pour les programmes, une RAM pour le traitement des données temporaires, et parfois une mémoire non volatile pour stocker des informations sensibles.
- **Une interface d’entrée/sortie :** Permettant la communication entre la carte et un lecteur via des contacts physiques ou par radiofréquence.

## Conséquences historiques et perspectives

L’introduction des cartes à puce dans les années 1980 a transformé les méthodes de gestion et de sécurisation des données. Contrairement aux systèmes analogiques ou magnétiques qui les précédaient, ces cartes offrent une protection renforcée contre les tentatives de fraude tout en étant compactes et faciles à produire en grande série. Aujourd’hui, les cartes à puce évoluent vers des applications plus avancées, comme les cartes biométriques intégrant des capteurs d’empreintes digitales, ou les cartes virtuelles utilisées dans les paiements mobiles. L’apparition de l’Internet des objets (IoT) ouvre également de nouvelles perspectives, les puces devenant des éléments essentiels pour connecter et sécuriser les dispositifs dans un monde de plus en plus numérique. Ainsi, la puce et la carte à puce représentent bien plus que des avancées techniques : elles illustrent une étape clé dans la transformation des sociétés modernes, en rendant possibles des systèmes plus rapides, plus sûrs, et omniprésents dans notre quotidien.



## CHAPITRE 5

### L'ÉVOLUTION DU MATÉRIEL INFORMATIQUE

*Depuis les premiers calculateurs mécaniques évoqués au chapitre 2, l'évolution du matériel informatique s'est construite par étapes, entre expérimentations incertaines et avancées décisives. Les débuts furent marqués par des machines expérimentales, souvent uniques et complexes, illustrant une quête constante pour améliorer les performances et réduire les coûts. L'avènement des mainframes dans les années 1950 a permis l'émergence de systèmes informatiques centralisés, bien que coûteux et réservés à des institutions spécifiques. La miniaturisation des composants et la création du circuit intégré en 1958 par Jack Kilby, révolutionnant la conception des ordinateurs. Cette avancée a ouvert la voie aux mini-ordinateurs dans les années 1960, rendant l'informatique plus accessible. Le véritable tournant s'est produit en 1971 avec l'introduction du premier microprocesseur, l'Intel 4004, qui a permis la conception de micro-ordinateurs compacts et abordables. Ce chapitre explore ces étapes clés, mettant en lumière des innovations marquantes telles que le Micral, premier micro-ordinateur, et l'Apple II, qui a démocratisé la micro-informatique. À travers ces évolutions, nous verrons comment le matériel informatique a constamment redéfini les usages, ouvrant la voie à l'ère numérique que nous connaissons aujourd'hui.*

## 5.1 Des calculateurs aux ordinateurs modernes

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les machines de calcul changent de nature. Longtemps conçus pour effectuer des opérations numériques précises et répétitives, les calculateurs électromécaniques laissent progressivement place à des systèmes plus souples, capables d'être reprogrammés pour différentes tâches. C'est cette mutation, lente mais décisive, qui marque l'entrée dans l'ère des ordinateurs. Le tournant s'amorce avec l'apparition du *modèle de von Neumann*, qui théorise une architecture où programme et données partagent la même mémoire.

Dans ce contexte émergent, certaines entreprises vont jouer un rôle déterminant. Parmi elles, IBM s'impose rapidement comme un acteur incontournable, à la croisée de l'innovation technologique et des besoins industriels croissants. Ses systèmes de traitement, d'abord conçus pour les grandes institutions, seront au cœur du développement de l'informatique professionnelle et scientifique durant plusieurs décennies.

C'est cette transition — du calcul mécanique au traitement automatisé de l'information — que cette partie explore, à travers les premières architectures, les évolutions techniques majeures et les machines emblématiques qui ont marqué l'histoire. Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur la « préhistoire de l'informatique »<sup>1</sup>, les machines mécaniques du XVII<sup>e</sup> siècle ont préparé le terrain. Nous abordons ici la rupture décisive du XX<sup>e</sup> siècle : l'apparition des calculateurs électromécaniques, puis électroniques.

### Le calculateur ABC (1939-1942)

Le premier à utiliser des tubes à vide (environ 300) dans un calculateur est *John Vincent Atanasoff*, professeur de physique à l'Iowa State College (actuellement Iowa State University), aux États-Unis. Avec son étudiant *Clifford Berry*, il commence dès 1939 l'élaboration d'un calculateur destiné à résoudre des équations linéaires. Cette machine est révolutionnaire, non seulement pour l'utilisation des *tubes à vide*, malgré leur fragilité, mais aussi pour l'introduction du système binaire. Toutefois, elle était *non programmable* et lente : sa vitesse d'horloge, de 60 pulsations par seconde<sup>2</sup>, aurait pu être atteinte sans électronique. La mémoire était assurée par un tambour rotatif utilisant des condensateurs pour stocker des données, une forme primitive de mémoire RAM. Cependant, la machine ne fut jamais véritablement opérationnelle ni commercialisée, en raison de retards dus au manque de financement et aux interruptions causées par la Seconde Guerre

---

1. Voir le chapitre 2, page 22

2. Par comparaison, l'ENIAC atteindra 200 000 pulsations par seconde

mondiale. En juin 1941, John Mauchly, futur co-inventeur de l'ENIAC, a séjourné chez Atanasoff et a étudié en détail l'ABC. Cette rencontre a sans doute eu des implications significatives pour le développement du futur ENIAC. L'ABC pose un jalon dans l'histoire des calculateurs, en introduisant le binaire et la logique booléenne.



FIGURE 5.1 – L'Atanasoff-Berry Computer (ABC)

Auteur : Ik T. Licence : CC SA 2.0.

Pour la petite histoire, Atanasoff, très inspiré, avait appelé sa création une « machine à calculer ». Ce n'est que plus tard qu'elle sera nommée « ABC », pour *Atanasoff-Berry Computer*. En 1973, un tribunal américain a reconnu l'ABC comme le premier ordinateur électronique numérique, lors d'une bataille judiciaire impliquant l'ENIAC. Nous verrons plus tard pourquoi cette décision reflète une mauvaise compréhension de la notion d'ordinateur. Une réplique fonctionnelle de l'ABC a été construite dans les années 1990 pour honorer sa contribution à l'histoire des ordinateurs. Elle est aujourd'hui exposée au Durham Computation Center de l'Iowa State University, à Ames, Iowa, aux États-Unis. Le calculateur ABC représente une étape clé dans l'évolution de l'informatique et illustre l'ingéniosité de ses concepteurs.

## Les Z de Konrad Zuse (1938-1941)

*Konrad Zuse* est un jeune ingénieur allemand travaillant sur la résistance des structures. Confronté dans son travail à de nombreux calculs longs et répétitifs, il imagine à 26 ans son premier calculateur binaire, le Z1, qu'il

achève en 1938. Zuse travaille seul et sans revenu, et installe son Z1 dans le salon de ses parents, transformant cet espace en atelier mécanique. Avec ses plus de 20 000 pièces mobiles, ce calculateur entièrement mécanique ne laissait guère de place aux réceptions familiales !

Le **Z1** est conçu pour effectuer des calculs en utilisant des nombres binaires et une logique arithmétique. Une bande perforée permet d'entrer des séquences d'instructions. Les données peuvent également être introduites manuellement à l'aide de cadrans mécaniques, et les résultats sont affichés sur des cadrans analogiques. Contraint par un budget limité, Zuse ne peut utiliser ni lampes à vide ni électronique. Il se tourne donc vers des grilles mécaniques, des engrenages et des leviers pour représenter et manipuler des nombres binaires<sup>3</sup>. Bien que la machine soit fragile et peu fiable, elle fonctionne suffisamment pour convaincre Zuse de poursuivre ses recherches.

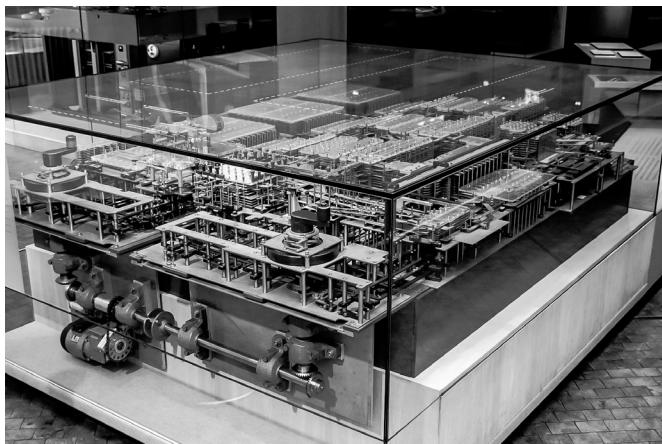


FIGURE 5.2 – le Z1 de Konrad Zuse (1938)

Auteur : Mike Peel. Licence : CC BY-SA 4.0.

Le **Z2**, achevé en 1940, est une étape importante dans ses recherches. Il s'agit d'une machine *électromécanique*, combinant les mécanismes du Z1 et des relais téléphoniques pour exécuter les opérations logiques et arithmétiques. Ces relais, déjà utilisés dans les centraux téléphoniques, permettent d'améliorer significativement la fiabilité et la vitesse de calcul. La mémoire, encore limitée, stocke 64 mots de données, chacun codé sur 22 bits. Grâce à cette machine, Zuse obtient cette fois un soutien financier de

---

3. Dans la machine *Z1*, les grilles mécaniques sont des plaques métalliques rainurées traversées par des leviers. Ces derniers peuvent glisser ou être bloqués selon le profil des rainures, ce qui permet de simuler des opérations logiques binaires (0 ou 1) de manière entièrement mécanique.

la *Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt* (Institut allemand de recherche aéronautique), ce qui lui permet de poser les bases de sa prochaine machine, le Z3 mais sous secret militaire.

En 1941, *Konrad Zuse* présente le **Z3**, considéré comme le premier ordinateur entièrement fonctionnel et programmable. Contrairement à ses pré-décesseurs, le Z3 est entièrement électromécanique, utilisant environ 2 000 relais pour effectuer les calculs et contrôler les opérations. Ces relais, bien que bruyants et encombrants, assurent une fiabilité et une rapidité bien supérieures aux mécanismes purement mécaniques du Z1. Le Z3 pèse environ une tonne et consomme 4 kW d'électricité en fonctionnement. Le Z3 est conçu pour effectuer des calculs en virgule flottante. Il peut exécuter des additions, soustractions, multiplications, divisions, et calculs racinaux, avec une précision impressionnante pour une machine de son époque. Les instructions sont programmées via une bande perforée, et les résultats sont affichés sur des indicateurs numériques. Grâce à sa conception avancée, le Z3 est utilisé pour des calculs liés à l'aéronautique, bien que son impact ait été limité par les restrictions imposées par la Seconde Guerre mondiale. Malheureusement, le Z3 original est détruit lors d'un bombardement allié sur Berlin en 1943. Zuse est le premier à comprendre que les fonctions de contrôle, tout comme les données, peuvent être exprimées et stockées sous forme numérique. En 1968, une analyse théorique démontre que sa structure est Turing-complète<sup>4</sup>.

Après la destruction du Z3 lors des bombardements de Berlin en 1943, *Konrad Zuse* entreprend la construction de son successeur, le **Z4**, une machine plus puissante et plus avancée. Ce calculateur, achevé en 1945, est conçu dans des conditions difficiles, à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Conscient des risques, Zuse déménage son atelier vers un village reculé des Alpes bavaroises, où il poursuit son travail avec des moyens très limités. Le Z4 devient le premier ordinateur au monde à être vendu commercialement.

Après la guerre, en 1950, il est acheté par l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETH Zurich) pour des calculs scientifiques. Il est alors utilisé pour résoudre des problèmes complexes dans des domaines tels que la dynamique des fluides.<sup>5</sup> En 1955 elle est cédé à l'institut franco-allemand de Saint-Louis, en Alsace.

---

4. Une structure est Turing-complète si elle peut manipuler une mémoire illimitée (en pratique limitée par le matériel), utiliser des instructions conditionnelles et des boucles, et simuler toute autre machine Turing-complète.

5. Les équations différentielles sont de plus en plus utilisées en ce début de 20 ème siècle. Elles servent à modéliser des phénomènes dynamiques en sciences et en ingénierie, tels que la croissance des populations, le mouvement des fluides, les oscillations mécaniques, ou la propagation de la chaleur.

## Model I ou l'additionneur de cuisine (1940)

Si Zuse travaillait dans le salon de ses parents, un autre jeune ingénieur américain, *George Stibitz*, avait investi sa cuisine pour ses travaux du week-end ! Quelques années plus tard, ce seront les garages qui serviront de locaux aux futures entreprises de la Silicon Valley. Stibitz, ingénieur aux Bell Telephone Laboratories de New York, travaillait dans un environnement qui allait devenir un vivier de talents dans le domaine de l'informatique. Il comprend rapidement que les relais téléphoniques fonctionnent de manière analogue au système binaire. L'idée de construire un calculateur lui vient en 1937, lorsqu'il improvise une démonstration à l'aide d'une ampoule et de fil pour simuler un additionneur binaire. À partir de là, il assemble des circuits de plus en plus sophistiqués et devient convaincu que son hobby pourrait déboucher sur une invention majeure, notamment après avoir lu l'article de Shannon publié en 1938. Son supérieur, le Dr Fry, reconnaît le potentiel de Stibitz et lui demande, avec Samuel B. William, de concevoir un calculateur à relais pour effectuer des opérations sur des nombres complexes, un besoin crucial pour les Bell Telephone Laboratories. Le Model I, également appelé le *Complex Number Calculator*, est développé en 1939 grâce à un financement des laboratoires Bell, dans un contexte où les calculs rapides deviennent essentiels pour l'ingénierie et les télécommunications. L'une des innovations majeures du Model I réside dans sa capacité à être contrôlé à distance. Bien que son architecture soit relativement simple, avec 450 relais dédiés aux calculs, il utilise un télétype<sup>6</sup> modifié comme périphérique d'entrée. Ce télétype permet non seulement d'introduire les problèmes, mais aussi de lire les résultats imprimés. En 1940, Stibitz réalise une démonstration historique en contrôlant la machine depuis Dartmouth College, à plusieurs centaines de kilomètres, via une ligne téléphonique. Cet événement marque la première utilisation connue d'une machine calculatrice fonctionnant en réseau à distance, ouvrant ainsi la voie aux premières idées de calcul distribué.

## Le calculateur Harvard Mark I (1937-1944)

Le projet est né à l'université de Harvard en 1937 dans l'esprit de *Howard H. Aiken*<sup>7</sup>, professeur de mathématiques appliquées. Inspiré par les travaux de *Charles Babbage*, Aiken se lance dans la conception d'un calculateur électromécanique. Son ambition est en grande partie motivée par les heures laborieuses passées, lorsqu'il était étudiant, à résoudre des équa-

---

6. Un télétype combine les fonctions d'une machine à écrire et d'un télégraphe.

7. Voir la biographie de H. Aiken page 275.

tions différentielles. En effet face à l'absence d'outils capables de résoudre ces équations, Aiken propose la création d'un calculateur à grande échelle. Sa proposition est d'abord rejetée par ses collègues de Harvard, puis par la *Monroe Calculating Company*. Il se tourne alors vers IBM, présentant un cahier des charges sans plan de conception détaillé, laissant à IBM le soin de développer une solution adaptée. Initialement estimé à 15 000 dollars, le projet voit ses coûts grimper à environ 100 000 dollars lors de son acceptation en 1939, pour atteindre finalement près de 200 000 dollars.

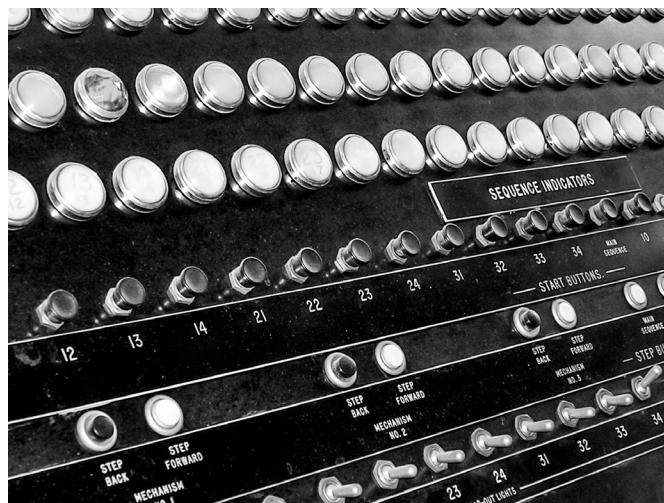


FIGURE 5.3 – Détail du Harvard Mark I

Auteur : B4 — Travail personnel. Licence : CC BY-SA 2.5.

Le Harvard Mark I, est une machine imposante : 16 mètres de long, 2,60 mètres de hauteur, un poids de 5 tonnes, et environ 750 000 pièces mécaniques, dont 3 300 relais électromécaniques. Pour refroidir cette machine gigantesque, plusieurs tonnes de glace étaient nécessaires chaque jour, et son bruit de cliquetis incessant créait un vacarme assourdissant. Bien que visuellement impressionnant, ce calculateur n'était pas encore un véritable ordinateur, mais une machine dédiée aux calculs séquentiels complexes.

Le Harvard Mark I est également connu sous le nom d'**IBM Automatic Sequence Controlled Calculator** (ASCC), a été mis en service en mai 1944. Il a été officiellement présenté à l'Université Harvard lors d'une cérémonie le 7 août 1944. Il a joué un rôle significatif pendant la Seconde Guerre mondiale, notamment en contribuant au projet *Manhattan*. Le 29 mars 1944, *John von Neumann*, alors impliqué dans le développement de la bombe atomique, a utilisé cette machine pour effectuer des simulations

visant à évaluer la faisabilité de l'implosion comme mécanisme de détonation. Le Mark I utilisait des relais et des roues mécaniques pour effectuer des calculs, un fonctionnement finalement pas si éloigné de la Pascaline, mais à une échelle bien supérieure.

Il reposait sur un système décimal codé en binaire (*Decimal Coded Binary* ou DCB), où chaque chiffre était représenté par une combinaison binaire<sup>8</sup> sur plusieurs canaux électromécaniques. Ce codage permettait une représentation numérique plus directe, mais limitait la rapidité et la complexité des opérations par rapport aux architectures binaires ultérieures. Programmable via des bandes perforées, il permettait d'exécuter des séquences d'instructions préétablies. Il était capable de traiter des calculs en virgule flottante, une avancée technologique notable pour l'époque.

On parle également pour ce calculateur du concept de registre : une mémoire temporaire qui stocke les valeurs nécessaires aux calculs, facilitant leur exécution séquentielle.

Cependant, le contrôle des instructions restait rigide. Chaque opération devait être planifiée dans un ordre précis, dicté par les instructions sur la bande perforée et géré par les registres. Malgré ces limitations, le Mark I représentait une avancée majeure en combinant des mécanismes mécaniques et électromécaniques pour résoudre des problèmes complexes.

*Grace Hopper*, pionnière de l'informatique, a travaillé sur l'ordinateur électromécanique Mark I et y a introduit des idées novatrices en matière de programmation. La machine fut utilisée par la marine américaine pour effectuer des calculs de trajectoires balistiques. C'est en travaillant sur son successeur, le *Mark II*, que se produisit un incident resté célèbre dans l'histoire de l'informatique : le 9 septembre 1947, une panne survint à cause d'une mite coincée entre les contacts d'un relais électromécanique. Après avoir identifié la source du problème, les techniciens consignèrent l'insecte dans leur journal de bord en notant avec humour : « *First actual case of bug being found* ». Depuis cet événement, le terme anglais *bug*, qui signifie à l'origine « insecte », est couramment utilisé pour désigner une erreur ou un dysfonctionnement dans un programme informatique. En français, le mot consacré est *bogue*. Mais revenons au Harvard Mark I qui est souvent considéré comme une étape intermédiaire entre les calculateurs mécaniques et les ordinateurs électroniques comme l'ENIAC. Il a clairement marqué une étape dans l'histoire de l'informatique mais il était hélas pour lui déjà obsolète avec l'apparition de l'ENIAC, une machine plus rapide et flexible construite en secret à l'université de Pennsylvanie.

---

8. Le nombre décimal 42 est représenté en DCB par deux groupes de 4 bits : 0100 pour le chiffre 4 et 0010 pour le chiffre 2, soit 01000010.

## ENIAC (1945)

L'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*), achevé en 1945, est souvent présenté comme le premier ordinateur. Il s'agit en réalité d'un super-calculateur entièrement électronique, sans être encore un ordinateur programmable au sens moderne.

Il mesurait environ 30 mètres de long, occupait une salle de 160 m<sup>2</sup>, pesait plus de 27 tonnes, et nécessitait près de 150 kilowatts pour fonctionner — l'équivalent de la consommation d'un petit quartier résidentiel. Cette dépense énergétique s'expliquait par ses 18 000 tubes à vide, qui dégageaient une chaleur considérable et devaient être fréquemment remplacés.

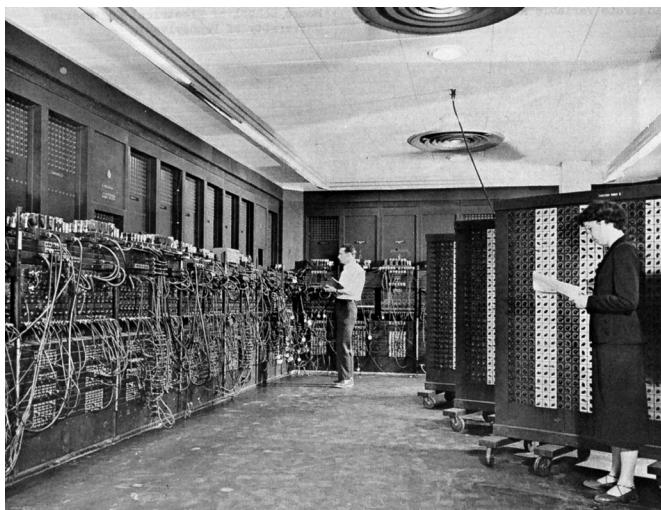


FIGURE 5.4 – ENIAC — Université de Pennsylvanie (Philadelphie)

La Seconde Guerre mondiale joua un rôle moteur dans le développement de cette machine. Face à la demande croissante de tables balistiques, les calculateurs électromécaniques devenaient insuffisants. L'armée américaine, par l'intermédiaire de son *Ballistic Research Laboratory* (BRL), confia à la Moore School of Electrical Engineering (Université de Pennsylvanie) le projet de concevoir un calculateur rapide et fiable.

John W. Mauchly<sup>9</sup>, physicien, proposa dès 1942 d'exploiter les tubes électroniques pour automatiser les calculs. Il s'associa avec J. Presper Eckert<sup>10</sup>, jeune ingénieur diplômé de la Moore School. Grâce au soutien du lieutenant

---

9. Voir la biographie de Mauchly page 282

10. Voir la biographie de Eckert page 278

Herman H. Goldstine, mathématicien du BRL, ils obtinrent un financement du département de l'Armement le 5 juin 1943.

Bien que l'*ENIAC* fût entièrement électronique, il n'utilisait pas encore le système binaire. Il reposait sur une logique **décimale**, avec des compteurs à dix positions, simulant les chiffres de 0 à 9 à l'aide d'impulsions électriques. Chaque chiffre nécessitait 36 tubes électroniques, et l'arithmétique était réalisée par décomptes et retenues, à la manière des anciennes roues mécaniques. Ce fonctionnement reflète une transition : une architecture électronique moderne, mais encore pensée dans la logique des calculateurs mécaniques traditionnels.

L'*ENIAC* pouvait effectuer environ 5 000 additions ou 300 multiplications par seconde — des performances impressionnantes pour l'époque. Cependant, il n'était pas encore programmable de manière souple : changer un programme nécessitait un recâblage manuel complet. L'intervention humaine restait donc essentielle pour modifier la nature des calculs effectués.

Bien que l'*ENIAC* ait été conçu pour le calcul de trajectoires balistiques, son premier programme opérationnel, exécuté en décembre 1945, fut dédié à l'étude de la faisabilité d'une arme thermonucléaire, c'est-à-dire la bombe H. Ce calcul complexe, impliquant des milliers d'étapes de programmation et environ un million de cartes perforées, permit d'identifier des failles dans les conceptions initiales de la bombe H, influençant ainsi les orientations futures de la recherche en armement thermonucléaire.

Une légende persiste selon laquelle sa mise hors tension aurait provoqué une panne générale dans Philadelphie, illustrant sa consommation extrême. Toutefois, cette anecdote semble relever davantage du folklore que d'un fait établi.

## L'*EDVAC* le premier ordinateur (1949)

Lorsque Von Neumann participe au projet de l'*ENIAC* en tant que consultant, il perçoit assez vite les limites d'une telle machine. L'*ENIAC* n'est pas programmables dans le sens moderne. Il nécessite des câblages physiques ou des réglages mécaniques pour exécuter des instructions spécifiques. Reprogrammer une tâche pouvait prendre des jours, car il fallait reconfigurer les câbles et les commutateurs. Cela est dû au fait que les calculateurs ne stockaient pas leurs programmes dans une mémoire accessible. Chaque instruction devait être entrée ou configurée manuellement. Même si l'*ENIAC* utilisait des cartes perforées c'était pour entrer les données et pour sortir les résultats, mais pas pour la programmation interne. Cela limitait leur flexibilité et leur capacité à exécuter des séquences complexes de manière autonome. Fort de ce constat et en s'inspirant également des

travaux d'Alan Turing, il va élaborer un autre principe de fonctionnement qu'on appelle l'architecture de Von Neumann. Il est important de comprendre qu'ici la révolution ne vient pas de la prouesse technologique mais bien d'une autre manière d'imaginer le calculateur qui va devenir ordinateur. Quelle est donc cette architecture qu'on retrouve toujours dans tous les ordinateurs modernes depuis 1945 ? Son principe fondamental repose sur l'idée que les données et les instructions (programmes) sont stockées dans une **mémoire unique**, accessible par l'unité centrale de traitement. Prenons l'exemple d'une instruction prévue pour l'EDVAC :

*Cette instruction pourrait avoir la forme -> 101 1001 1111 0011*

*101 est l'opérateur ici l'addition.*

*1001 et 1111 sont les adresses des opérandes.*

*On peut imaginer des valeurs à ses opérandes :*

*Par exemple la valeur 3 (11 en binaire) à l'adresse 1001.*

*La valeur 2 (10 en binaire) à l'adresse 1111.*

*0011 est l'adresse où stocker le résultat.*

*Dans ce cas on mettrait donc la valeur 5 (101 en binaire) à l'adresse 0011.*

Ce que l'on remarque c'est que l'adresse des données (1001, 1111, 0011) ou l'adresse de l'instruction (101) ont la même forme : *le binaire*. De même que le contenu (11-10-101). Cette mémoire est partagée entre le programme en cours d'exécution et les données. On peut dès lors *programmer* !

L'automatisme des calculs est désormais à l'intérieur de la machine donc plus besoin de configurations manuelles ou des câblages physiques pour exécuter un programme. En plus de la mémoire unique une **Unité de contrôle** se charge de lire séquentiellement les instructions et d'exécuter des opérations de manière automatique. Par exemple 101 est interprété par notre Unité de contrôle comme une addition. Le calcul (ici l'addition) est confié à une **Unité arithmétique et logique**. C'est dans cette unité que sont effectués toutes les opérations arithmétiques (addition, soustraction, multiplication, division, ...) et les opérations logiques (comparaisons, opérations booléennes).

Enfin il reste à relier tout ça et c'est le rôle des *Bus systèmes* (qui sont des fils) et pour entrer par exemple le 3 et le 2 des périphériques d'entrées et connaître le résultats des périphériques de sorties. Vous obtenez ainsi l'architecture de *Von Neumann* tel qu'il l'a formalisé dans un document intitulé « First Draft of a Report on the EDVAC » daté du 30 juin 1945. En centralisant les opérations sur une unité de traitement et en simplifiant le flux d'instructions grâce à cette mémoire partagée, l'architecture de Von Neumann a jeté les bases des ordinateurs modernes, rendant les machines

plus flexibles, plus rapides à reprogrammer, et aptes à gérer des applications complexes sans intervention physique. Pour revenir à l'EDVAC, son développement a commencé en 1945 à l'*« École Moore de l'Université de Pennsylvanie*, mais sa réalisation a été marquée par des retards et des défis organisationnels. Finalement il faudra attendre 1951 pour qu'il soit fonctionnel mais entre temps d'autres ordinateurs à l'architecture Von Neumann avaient déjà vu le jour.

## Le SEAC (1950)

Le SEAC (*Standards Eastern Automatic Computer*), construit en 1950 par le *National Bureau of Standards* aux États-Unis, est l'un des premiers ordinateurs à programme enregistré pleinement opérationnel. Il a été conçu comme une solution temporaire en attendant des machines plus puissantes comme le DYSEAC et utilisé pour la résolution de problème météorologique.

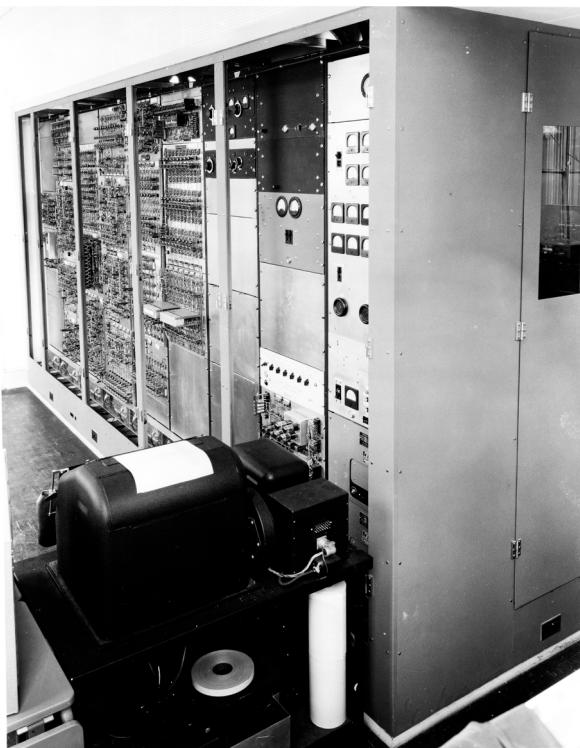


FIGURE 5.5 – Le SEAC (Standards Eastern Automatic Computer)  
Licence : Domaine public.

Inspiré de l'EDVAC, le SEAC se distingue par son utilisation novatrice de 10 500 diodes en germanium pour réaliser la logique, marquant une transition entre les technologies à tubes à vide et les semi-conducteurs. Cependant, l'utilisation de diodes au germanium a posé des défis techniques, notamment au niveau des soudures, qui étaient fragiles et sensibles à la chaleur. Ces problèmes de fiabilité ont nécessité une maintenance fréquente et ont influencé le développement ultérieur des procédés d'assemblage pour les semiconducteurs. Bien qu'il intègre encore 747 tubes à vide pour l'amplification et le stockage, ses diodes ont réduit la consommation d'énergie. Avec une mémoire de 512 mots de 45 bits stockée sur des lignes de délai acoustique, il offrait un temps d'addition de 864 microsecondes et un temps de multiplication de près de 3 millisecondes. Pesant environ 1,4 tonne, le SEAC combine des technologies émergentes et fut utilisé jusqu'en 1964.

## L'UNIVAC (1951)

L'architecture de Von Neumann a transformé les calculateurs en machines programmables. Cependant, ces premiers ordinateurs restaient volumineux et coûteux, limitant leur utilisation aux applications militaires ou institutionnelles. Les décennies suivantes ont été marquées par des innovations qui ont progressivement rendu l'informatique accessible à un public plus large.



FIGURE 5.6 – La console de l'UNIVAC

Après l'ENIAC, John Presper Eckert et John Mauchly ont développé l'UNIVAC (Universal Automatic Computer) en **1951**, le premier ordinateur

commercial destiné aux entreprises pour des applications de gestion et aux institutions. Contrairement à ses prédecesseurs, l'UNIVAC était conçu pour automatiser diverses tâches, notamment le traitement des données du recensement américain. La construction de l'UNIVAC 1 se fait de 1945 à 1951. Cet accouchement ne se fera pas sans mal. Eckert et Mauchly affrontent des conflits internes, des difficultés financières, des problèmes techniques et des pressions politiques, notamment liées à des accusations antiaméricaines. L'UNIVAC était révolutionnaire pour l'époque, bien que volumineux et utilisant encore des tubes à vide (environ 5 200), son rythme de calcul atteignait 2 250 000 états par seconde. Il avait une mémoire à lignes de délai et des bandes magnétiques pour le stockage. Il pouvait ainsi effectuer environ 1 000 opérations par seconde, pas si mal pour l'époque. En démocratisant l'informatique au sein des grandes organisations, l'UNIVAC a ouvert la voie à la standardisation et à l'industrialisation de l'informatique commerciale. Il a également influencé des concurrents comme IBM, qui est rapidement devenu un acteur dominant.

## IBM 701 (1952)

Dans les années précédant la Seconde Guerre mondiale, IBM dominait le marché des machines de traitement de l'information grâce à ses calculatrices électroniques à programmation externe. Ces machines, bien que performantes, étaient limitées par leur programmation via des cartes perforées, ce qui restreignait leur flexibilité. À cette époque, les dirigeants d'IBM peinaient à percevoir l'intérêt croissant pour les ordinateurs à programme enregistré, qui offraient une polyvalence et une efficacité accrues. De plus, les lois antitrust aux États-Unis empêchaient IBM d'acquérir de plus petits constructeurs, freinant ainsi son expansion dans ce secteur en plein essor. Cependant, IBM restait attentif aux innovations technologiques. La guerre froide donne l'occasion dès 1950 de s'engager dans la construction d'ordinateurs, amorçant ainsi son évolution vers la conception de machines programmables. Pour cela IBM recrute von Neumann comme consultant. L'IBM 701 fut dévoilé en **1952**. Cette machine représentait une réponse directe à l'UNIVAC de Remington Rand, alors considéré comme une référence dans le domaine. L'IBM 701 a été surnommé Defense Calculator lors de sa conception, car il visait à répondre aux besoins des agences gouvernementales américaines, notamment dans le contexte de la Guerre froide. Il a été utilisé pour la simulation nucléaire, la cryptanalyse et d'autres applications stratégiques. Le 701 se distinguait notamment par son architecture mémoire, reposant sur les *tubes de Williams*, des tubes cathodiques d'environ 8 cm, du nom de leur inventeur. Bien qu'encore sujets à des défaillances, ces

tubes présentaient un avantage crucial : ils permettaient la lecture simultanée de tous les bits d'un mot, contrairement aux lignes de délai à mercure utilisées par l'UNIVAC, qui imposaient une lecture bit à bit. En termes de performances, l'IBM 701 surpassait clairement son concurrent. Il était capable d'effectuer jusqu'à 2200 multiplications par seconde, contre 455 pour l'UNIVAC, et environ 17 000 additions ou soustractions par seconde, ce qui constituait un exploit technologique pour l'époque. Son système de stockage sur bande magnétique, également très performant, permettait la lecture ou l'écriture de 12 500 caractères par seconde avec des temps d'accès réduits. Toutefois, contrairement à l'UNIVAC, le processeur du 701 devait gérer directement les opérations d'entrée/sortie, ce qui pouvait entraîner des ralentissements pour les applications intensives en E/S. IBM poursuivit ses avancées avec l'introduction, en 1956, de la technologie *RAMAC* (Random Access Method of Accounting and Control), premier système de disque dur magnétique. Cette innovation permettait un accès direct aux données, quel que soit leur emplacement sur le disque, et pouvait être utilisée avec le 701 mais aussi avec d'autres modèles IBM, comme le célèbre 650. Bien que seulement 19 exemplaires du 701 aient été produits, mais cela a suffi pour imposer IBM comme un acteur clé du calcul électronique. La raison de sa faible diffusion est son coût élevé, estimé à 16 000 dollars. À noter que le 701 n'était qu'un élément de la stratégie d'IBM ; l'autre pilier reposait sur le développement parallèle de l'IBM 650, plus abordable, que nous aborderons ultérieurement. A noter que l'IBM 702 est une évolution du 701, mais conçue pour un usage commercial, par opposition à l'orientation militaire et scientifique du 701.

## IBM 650 (1954)

Il est annoncé en 1953, installé en décembre 1954 est le deuxième ordinateur (ou troisième si on compte l'IBM 702 variante du 701) commercialisé par IBM, succédant au modèle 701 destiné aux applications scientifiques. Conçu pour les opérations commerciales, il est reconnu comme le premier ordinateur au monde fabriqué en série et le premier à générer des bénéfices pour IBM. Il a marqué les esprits avec son tambour magnétique de 150 000 bits d'information, tournant à 12 500 tours par minute. Entre 1954, date de sa première livraison, et l'arrêt de sa production en 1962, plus de 2 000 unités ont été produites. La maintenance de l'IBM 650 et de ses composants a été assurée jusqu'en 1969. Fait notable, le dernier IBM 650 connu a bénéficié d'un enterrement symbolique en 2007.

## Projet Whirlwind (tourbillon de vent) : 1953

Dans les années 1940, alors que la Seconde Guerre mondiale bouleversait les priorités technologiques à l'échelle mondiale, un projet américain singulier allait jeter les bases de plusieurs révolutions informatiques. Le projet *Whirlwind*, lancé en 1943 au Massachusetts Institute of Technology (MIT), visait initialement la création d'un simulateur de vol en temps réel pour l'entraînement des pilotes de l'US Navy. Ce besoin impliquait une puissance de calcul considérable, capable de traiter un grand volume de données à une vitesse suffisante pour simuler un cockpit avec réalisme.

Les défis furent nombreux : le développement s'étira bien au-delà de la guerre, engloutissant des budgets massifs et remettant en question la finalité même du projet. Ce n'est qu'à la fin des années 1940, avec l'émergence de la guerre froide et la menace croissante d'une attaque nucléaire soviétique, que le projet trouva une nouvelle raison d'être : fournir l'ossature d'un système de défense aérienne automatisé.

C'est dans ce contexte que le projet Whirlwind devint le cœur d'un programme stratégique baptisé *SAGE* (Semi-Automatic Ground Environment), un système de détection et de réponse aux attaques aériennes. Pour y parvenir, il fallait résoudre le problème crucial du stockage de l'information. Forrester explora une solution innovante : la mémoire électrostatique à tubes de Williams. Jugée instable et peu fiable, elle fut finalement abandonnée au profit d'une invention révolutionnaire : la mémoire à tores magnétiques, ou *mémoire centrale*. Cette technologie, mise au point au MIT sous la direction de Forrester et de son collaborateur Bill Papian, allait devenir le standard de stockage temporaire des ordinateurs pendant près de deux décennies.

En 1953, le Whirlwind était enfin opérationnel. Il atteignait une vitesse de traitement de 75,000 instructions par seconde, un record pour l'époque, bien qu'inférieur à l'objectif initial. Transférée à IBM, la technologie servit à la fabrication de l'**IBM AN/FSQ-7** (voir page 82).

Ironie de l'histoire : le projet Whirlwind, conçu à l'origine pour simuler un simple avion d'entraînement, aura ouvert la voie à toute une ère d'innovation technologique, justifiant, à bien des égards, les 8 milliards de dollars investis dans le programme SAGE. Il ne fut pas seulement un ordinateur, mais un creuset de l'informatique moderne. Et pour la petite histoire : la console du Whirlwind comportait un cendrier intégré, et même un allume-cigarette — un détail à peine croyable, mais qui témoigne du caractère expérimental et audacieux de cette époque pionnière.

## IBM 704 (1954)

annoncé en 1954, l'**IBM 704**, conçu par *Gene Amdahl*, est le premier ordinateur commercial à grande échelle capable de traiter automatiquement des opérations arithmétiques en virgule flottante, ouvrant ainsi la voie à des calculs scientifiques de haute précision. Il est également associé à une autre avancée majeure : l'introduction du langage *FORTRAN*<sup>11</sup>, spécifiquement développé pour faciliter la programmation dans le domaine scientifique. L'IBM 704 est également le premier ordinateur à intégrer la mémoire centrale magnétique issue du projet Whirlwind. Cette mémoire, constituée de tores de ferrite — de petits anneaux métalliques magnétiques — permettait de stocker des bits en fonction de leur polarité. Cette technologie offrait de nombreux avantages : un accès rapide, une grande fiabilité, la conservation des données sans alimentation électrique, et un accès aléatoire uniforme à tous les emplacements mémoire.

Pour le stockage à long terme, la machine utilisait un tambour magnétique, complété par des bandes perforées pouvant contenir jusqu'à cinq millions de caractères. En termes de performances, l'IBM 704 pouvait effectuer jusqu'à 4000 multiplications ou divisions d'entiers par seconde, et près de 12 000 additions ou soustractions en virgule flottante, ce qui représentait un exploit remarquable pour l'époque. L'IBM 704 introduisait également les registres indexés, une innovation qui améliorait considérablement l'efficacité des instructions conditionnelles et réduisait les temps de développement logiciel. Ces deux innovations fondamentales — la gestion native de la virgule flottante et les registres indexés — deviendront des piliers durables de l'architecture des processeurs modernes.

## IBM 709 (1958)

L'IBM 709, annoncé en 1958, constitue une évolution significative du modèle précédent, l'IBM 704. Conçu pour les calculs scientifiques intensifs, il représente l'une des dernières grandes machines à tubes électroniques avant le basculement vers les transistors. Il a été particulièrement adopté par les institutions académiques, les centres de recherche et les organismes gouvernementaux américains, comme la *NASA* et le *MIT*.

L'IBM 709 offrait des performances accrues grâce à une architecture améliorée : il pouvait effectuer jusqu'à 42 000 additions ou soustractions par seconde, soit près du double du 704. Il supportait aussi des opérations en virgule flottante, ce qui le rendait adapté aux simulations scientifiques et calculs complexes. Sa mémoire principale était basée sur la technologie

---

11. Voir chapitre 8 : Les langages de programmation

des tores magnétiques (« core memory »), qui permettait un accès rapide, fiable et non volatile aux données. Cette mémoire comportait 32 768 mots de 36 bits, un standard dans la gamme IBM scientifique.

Sur le plan logiciel, l'IBM 709 fut également notable par l'introduction du système d'exploitation IBSYS, qui facilitait le traitement par lots et la gestion des périphériques. Il utilisait en entrée-sortie des bandes magnétiques pour le stockage secondaire, ainsi que des cartes perforées pour les programmes et les données.

Malgré ses améliorations, l'IBM 709 était encore une machine volumineuse, chère à maintenir, et sensible aux pannes liées à l'utilisation des tubes électroniques. Ces limitations seront rapidement levées par l'arrivée de sa version transistorisée, l'IBM 7090, introduite dès la fin de la même année. Néanmoins, le 709 reste une étape clé dans la transition vers des systèmes plus puissants, marquant la fin de l'ère des calculateurs à tubes et préparant le terrain pour la génération suivante.

## IBM AN/FSQ-7 (1958)

Dans le contexte tendu de la Guerre froide, la nécessité de systèmes de défense aérienne sophistiqués a conduit au développement du **IBM AN/FSQ-7**, un ordinateur central conçu pour le système SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*). Mis en service en 1958, l'AN/FSQ-7 est reconnu comme le plus grand ordinateur jamais construit, et il marque une étape cruciale dans l'histoire de l'informatique militaire.

Ce système colossal occupait environ 2 000 mètres carrés au sol, pesait près de 275 tonnes, intégrait plus de 55 000 tubes à vide, et consommait jusqu'à 3 mégawatts d'électricité. Malgré cette architecture massive, il atteignait une performance remarquable pour l'époque, avec une capacité d'environ 75 000 instructions par seconde.

Développé par IBM en collaboration avec le Massachusetts Institute of Technology (MIT), l'AN/FSQ-7 formait le cœur du réseau SAGE, destiné à surveiller l'espace aérien nord-américain et à coordonner la réponse aux menaces potentielles. Chaque centre SAGE disposait d'une paire d'ordinateurs AN/FSQ-7 fonctionnant en tandem, assurant redondance et continuité de service. Le système recevait en temps réel les données de multiples stations radar, qu'il traitait immédiatement pour détecter, suivre et identifier des objets volants, puis pour coordonner les interceptions par chasseurs ou missiles sol-air.

L'AN/FSQ-7 constitue ainsi le premier système informatique à grande échelle intégrant pleinement le **traitement en temps réel** : les données n'étaient plus traitées en différé comme dans les systèmes à traitement par

lots, mais analysées et visualisées immédiatement, permettant une interaction directe avec les opérateurs humains. Cette capacité reposait sur une infrastructure novatrice, notamment l'utilisation de consoles à tube cathodique et de dispositifs de pointage (stylet lumineux), formant une interface homme-machine avant-gardiste.

Son architecture dérive du projet Whirlwind II du MIT, profondément adapté pour répondre aux exigences du système SAGE. Parmi les innovations techniques majeures figure la **mémoire à tores de ferrite**, qui remplace les technologies plus lentes et moins fiables utilisées jusque-là, et qui devient rapidement un standard de l'industrie.

L'AN/FSQ-7 a joué un rôle central dans la défense aérienne des États-Unis pendant plusieurs décennies. Il incarne la convergence entre impératifs stratégiques et innovations informatiques, et constitue un jalon majeur dans l'histoire des systèmes en temps réel, de la supervision militaire aux futures applications industrielles et civiles.

## IBM 1401 (1959)

Lancé en **1959**, l'**IBM 1401** est considéré comme une véritable révolution dans le domaine du traitement de l'information. Il ne fut pas l'ordinateur le plus puissant, ni même le plus rentable de la marque, mais il marqua un tournant décisif dans la démocratisation de l'informatique en entreprise. Il est fréquemment comparé, dans le secteur informatique, à la Ford Modèle T pour l'automobile : un produit accessible, robuste et transformateur.

Ce succès repose sur un ensemble de choix technologiques et stratégiques judicieux. Basé sur des transistors — bien plus fiables et économiques que les tubes à vide —, l'IBM 1401 était environ sept fois plus rapide que le modèle qu'il remplaçait, l'IBM 650. Il intégrait également une mémoire centrale magnétique à tores de ferrite, déjà expérimentée sur l'IBM 704, mais ici rendue bien plus abordable. Cette mémoire rapide (11 microsecondes) et non volatile offrait un accès aléatoire efficace, améliorant considérablement la gestion des données.

Mais le 1401 se distinguait aussi par sa capacité à répondre à des besoins réels. Sa gestion optimisée des entrées/sorties, sa fiabilité, son coût relativement bas (à partir de 2500 dollars par mois en location), et surtout la présence d'une imprimante performante — la fameuse IBM 1403, capable d'imprimer jusqu'à 600 lignes par minute — en faisaient une solution redoutablement efficace. Fait notable, certaines entreprises l'achetaient même uniquement pour l'imprimante, revendant ensuite l'unité centrale.

IBM accompagna également son offre d'une innovation majeure : l'inclusion gratuite de logiciels standards. Pour la première fois, un constructeur

proposait des programmes prêts à l'emploi, permettant à des entreprises sans programmeurs de tirer parti de l'informatique, tout en réduisant les coûts de développement interne. Ce modèle logiciel orienté client fut l'un des premiers signes de la maturité commerciale du secteur.

Le succès du 1401 fut tel qu'il dépassa toutes les prévisions d'IBM : les ventes furent douze fois supérieures aux estimations initiales. Sa popularité fut telle que de nombreuses entreprises retournèrent leurs anciens équipements (machines à cartes perforées ou systèmes plus imposants) pour adopter cette solution plus compacte et efficace. À cette époque, l'expression « *IBM et les sept nains* » désignait ironiquement la domination écrasante d'IBM face à ses rares concurrents dans l'industrie informatique naissante.

En définitive, le 1401 est l'ordinateur qui a rendu les machines électromécaniques obsolètes. Il a ouvert l'ère d'une informatique de gestion plus large, fiable, abordable, et préfigurait les évolutions qui allaient faire de l'informatique un pilier de l'économie moderne.

## IBM 7090 (1959)

Annoncée à la fin de l'année 1958 et mise en service dès 1959, l'IBM 7090 marque une évolution majeure dans la lignée des ordinateurs scientifiques d'IBM. Successeur direct de l'IBM 709 (1958), ce modèle se distingue comme l'un des premiers grands systèmes à adopter intégralement la technologie des transistors, en remplacement des tubes électroniques. Cette transition technologique apporte un gain considérable en vitesse, en fiabilité et en consommation énergétique.

L'IBM 7090 reprend en grande partie l'architecture logique de son prédecesseur, mais en l'améliorant sensiblement grâce à l'utilisation de près de 50 000 transistors. Elle est environ cinq à six fois plus rapide que le 709, atteignant des performances de l'ordre de 229 000 additions ou soustractions, 39 500 multiplications et 32 700 divisions par seconde. Sa mémoire centrale permet de stocker 32 768 mots de 36 bits, ce qui représentait une capacité considérable pour l'époque.

Le 20 février 1962, la mission **Mercury-Atlas 6** permet à l'astronaute *John Glenn* de devenir le premier Américain à orbiter autour de la Terre. Pour assurer le suivi de la capsule *Friendship 7*, la NASA met en place un réseau mondial de stations de suivi, appuyé par deux ordinateurs IBM 7090 installés au *Goddard Space Flight Center* (Maryland) et un IBM 709 à la station de suivi de l'île de Grand Bahama. Ces machines calculent en temps réel la trajectoire du vaisseau spatial, prédisent sa position future et assistent les contrôleurs de vol dans les décisions critiques, telles que l'activation des rétrofusées pour le retour sur Terre.

Avant le vol, John Glenn demande que les calculs de trajectoire générés par l'IBM 7090 soient vérifiés manuellement par la mathématicienne Katherine Johnson. Il aurait déclaré : « Si elle dit qu'ils sont bons, alors je suis prêt à partir ! ». Johnson recalculera à la main les paramètres critiques de la mission, confirmant la fiabilité des résultats produits par l'ordinateur.

Ce croisement entre calculs électroniques et vérifications humaines illustre l'importance de la collaboration entre l'homme et la machine dans les premières missions spatiales habitées.

En 1962 un peu après le vol de John Glenn, IBM lance une version améliorée, l'IBM 7094, qui atteint jusqu'à 250 000 additions/soustractions, 100 000 multiplications et 62 500 divisions par seconde. Elle conserve le même principe d'architecture, les programmes étant encore exécutés en traitement par lots, à l'aide de bandes magnétiques.

Bien que ces machines n'introduisent pas de rupture fonctionnelle majeure, elles incarnent une étape clé dans la transition vers les ordinateurs modernes. Le passage aux transistors et l'adoption de technologies comme la mémoire centrale et les périphériques RAMAC posent les fondations d'une informatique plus fiable et plus performante. Cependant, leur coût élevé — environ 63 500 \$ par mois pour une configuration type, sans compter les frais énergétiques — les réservait aux grandes institutions et aux centres de calcul gouvernementaux ou industriels.

## IBM 7030 » Stretch« (1961)

L'IBM 7030, surnommé *Stretch*, marque une ambition inédite dans l'histoire du constructeur : créer l'ordinateur le plus puissant jamais conçu. Développé à partir de 1955 et livré pour la première fois en 1961 au laboratoire national de Los Alamos, il devait initialement être 100 fois plus rapide que le standard de l'époque, l'IBM 704. Cette ambition audacieuse orienta toutes les décisions techniques du projet et entraîna une série d'innovations fondamentales pour les générations suivantes.

Construit autour d'une architecture entièrement transistorisée, le 7030 introduit des concepts majeurs comme l'utilisation de registres généraux<sup>12</sup>, la gestion anticipée des branches (*branch prediction*)<sup>13</sup>, la segmentation de la mémoire ou encore le traitement en pipeline. Il pouvait gérer à la fois des calculs en virgule fixe et en virgule flottante, avec une mémoire centrale allant jusqu'à 256 000 mots de 64 bits, un record pour l'époque.

---

12. Les registres généraux sont des emplacements très rapides au sein du processeur permettant de stocker temporairement des données.

13. La prédiction de branche (*branch prediction*) est une technique d'anticipation des instructions conditionnelles pour accélérer le traitement.

Cependant, malgré ses innovations, le projet Stretch fut considéré par IBM comme un semi-échec commercial. Les performances réelles, bien qu'extraordinaire (près de 10 000 additions par seconde), étaient loin des objectifs initiaux. Les clients — au premier rang desquels figuraient les laboratoires gouvernementaux — exprimèrent leur déception, forçant IBM à réduire significativement le prix de vente des machines déjà commandées.

Malgré cette déconvenue financière, le 7030 représente une étape cruciale. Il a posé les fondations architecturales de nombreux systèmes IBM ultérieurs, notamment la série System/360, et influencé durablement la conception des processeurs et des systèmes haute performance.

Le projet Stretch illustre ainsi l'ambition technologique extrême des années 1960, où les avancées de l'électronique et les besoins des grandes institutions scientifiques poussaient les constructeurs à repousser les limites du calcul numérique.

## Le Burroughs B 5000 (1961)

Le *Burroughs B 5000*, lancé en 1961, occupe une place singulière dans l'histoire de l'architecture des ordinateurs. Conçu par *Robert Barton* et son équipe chez *Burroughs Corporation* (Et oui ! Cette fois c'est pas IBM...) , il ne cherchait pas simplement à améliorer les performances matérielles, mais à redéfinir la manière dont les ordinateurs interagissent avec les langages de programmation et les besoins des utilisateurs.

Le B 5000 est l'un des tout premiers ordinateurs à avoir été explicitement conçu pour supporter des langages de haut niveau, notamment ALGOL, ce qui en faisait une machine pensée pour la programmation structurée. Contrairement aux architectures classiques basées sur une gestion très bas niveau de la mémoire et du matériel, le B 5000 reposait sur un concept d'architecture dite *stack-based* (à pile), supprimant l'usage explicite de registres généraux. Ce choix, novateur à l'époque, permettait une exécution plus naturelle des instructions de langages algorithmiques, rendant le système plus adapté aux programmeurs qu'aux ingénieurs matériels.

En plus de la pile mémoire<sup>14</sup> (Hardware Stack) et de la segmentation<sup>15</sup> avancée il introduit l'utilisation de descripteurs, structures permettant de

14. La *pile mémoire* (ou *stack*) est une zone de la mémoire où les données sont stockées et récupérées selon le principe LIFO (Last In, First Out — dernier entré, premier sorti). Elle est utilisée pour gérer les appels de fonctions, les variables locales et le retour d'exécution dans les programmes.

15. La *segmentation* est une technique de gestion de la mémoire qui divise un programme en blocs logiques appelés segments (code, données, pile, etc.), facilitant l'accès, la protection et la réutilisation de la mémoire. Elle permet également d'améliorer la modularité des programmes.

gérer dynamiquement les données en mémoire. Ces descripteurs facilitaient la distinction entre chaînes de caractères et tableaux de mots, le contrôle des plages de variables, l'allocation dynamique de tableaux, ou encore la gestion des tailles de caractères. Grâce à eux, le B 5000 devient le premier ordinateur commercial à proposer une mémoire virtuelle.

L'architecture s'accompagnait d'un système d'exploitation sophistiqué, le MCP (Master Control Program), capable de gérer la multiprogrammation et le multitâche, même avec des langages comme ALGOL et COBOL. Le MCP prenait en charge la mémoire, les entrées/sorties, la segmentation, la liaison des sous-programmes et l'ordonnancement des tâches, allégeant considérablement le travail des programmeurs.

Parmi les autres innovations notables du B 5000, on peut citer l'utilisation d'un système d'exploitation intégré multitâche (le MCP, *Master Control Program*), l'adressage à segments, la séparation stricte entre code et données (protégeant ainsi l'intégrité des programmes), et une gestion mémoire avancée pour l'époque. Le système était également orienté objet dans sa conception, bien avant que le paradigme ne devienne courant.

Le B 5000 a ainsi anticipé plusieurs tendances de l'informatique moderne : la sécurité mémoire, l'indépendance vis-à-vis du matériel, la programmation haut niveau et l'efficacité du multitâche. Même s'il n'a jamais atteint la popularité commerciale des machines IBM, il est aujourd'hui reconnu par les historiens de l'informatique comme l'une des architectures les plus élégantes et visionnaires jamais conçues.

Le B 5000 n'était pas qu'un produit, c'était une philosophie : celle de concevoir l'informatique avant tout pour les humains, pas uniquement pour les machines.

## UNIVAC 1107 (1962)

Introduit en 1962 par la société *UNIVAC* (issue de Remington Rand), l'**UNIVAC 1107** marque une transition importante dans l'évolution des grands systèmes informatiques. Ce modèle fut le premier ordinateur de la gamme 1100, destiné à concurrencer les machines les plus avancées d'IBM, notamment le 7090. Il fut également l'un des premiers à intégrer pleinement les principes de la *troisième génération d'ordinateurs*, avec l'utilisation étendue de transistors au silicium et l'abandon quasi total des tubes électroniques.

L'UNIVAC 1107 fut une machine innovante à plusieurs égards. Elle introduisait une architecture orientée vers le traitement scientifique et commercial, avec une mémoire principale composée de tores magnétiques, capable de stocker jusqu'à 32 768 mots de 36 bits. L'unité arithmétique à

virgule flottante était intégrée, ce qui le rendait particulièrement performant pour les calculs scientifiques.

Mais l'un des éléments les plus remarquables de l'UNIVAC 1107 résidait dans sa mémoire auxiliaire. Il fut en effet le premier ordinateur commercial à utiliser la mémoire à noyau de silicium (thin-film memory), une technologie expérimentale à l'époque, censée offrir des temps d'accès bien plus rapides que les mémoires magnétiques classiques. Bien que cette technologie n'ait pas connu un avenir durable, elle témoigne de la volonté d'innovation de l'époque.

L'UNIVAC 1107 a aussi été associé à l'émergence des premiers systèmes d'exploitation réellement modernes. Il servit notamment de banc d'essai pour le développement d'OS complexes gérant la multiprogrammation, les accès concurrentiels à la mémoire et les périphériques, ainsi que le partage des ressources processeur.

Ce modèle a contribué à affirmer la place d'UNIVAC comme acteur majeur, face à IBM, dans le marché très compétitif des ordinateurs centraux du début des années 1960. Il ouvrait la voie à la gamme 1100/2200 qui restera en usage jusqu'au début des années 2000 dans certaines administrations et entreprises.

## Le Honeywell 200 (1963)

Introduit en décembre 1963, le **Honeywell 200**<sup>16</sup> est un ordinateur central (mainframe) conçu pour concurrencer directement l'IBM 1401, alors système le plus populaire dans les applications commerciales. Ce modèle marquera un tournant dans l'histoire de l'informatique, non seulement pour ses caractéristiques techniques, mais surtout pour sa stratégie de compatibilité logicielle qui influencera la réaction d'IBM avec le développement du System/360.

Le Honeywell 200 repose sur une architecture à deux adresses orientée caractère, avec une mémoire à tores magnétiques pouvant atteindre 24,000 caractères. Il utilise des bits de ponctuation pour structurer les mots et les enregistrements. La machine supporte plusieurs langages de programmation populaires de l'époque, tels que **Easycoder** (assembleur), **COBOL**, **FORTRAN** et **RPG**.

L'élément clé de son succès est un logiciel appelé *Liberator* (sorte d'émulateur), qui permet d'exécuter directement les programmes développés pour l'IBM 1401. Ainsi, les entreprises pouvaient migrer vers une machine plus

---

16. Le Honeywell 200 a été conçu et fabriqué par la société américaine Honeywell, via sa division Electronic Data Processing (EDP). En Europe, il a été diffusé en partenariat avec la Compagnie des Machines Bull, sous la désignation H200.

performante sans devoir réécrire leur base logicielle. Le Honeywell 200 se comportait en quelque sorte comme un « émulateur amélioré », rendant possible une transition douce et économique. Cette approche a rencontré un vif succès, notamment auprès des administrations et des moyennes entreprises, et a incité IBM à repenser son modèle.

La réaction d'IBM ne se fera pas attendre. Dès 1964, la firme lance le **System/360**, une gamme d'ordinateurs compatibles entre eux, couvrant une large plage de performances et permettant de faire évoluer le matériel sans sacrifier les applications existantes. Le défi posé par le Honeywell 200 a donc contribué à l'émergence d'une nouvelle philosophie de compatibilité ascendante, qui deviendra la norme dans l'industrie informatique.

### IBM 360 (1964)

Dès le début des années 1960, IBM décide de rompre avec sa stratégie de production de machines incompatibles en développant une famille d'ordinateurs interopérables. Le projet est motivé en partie par la concurrence montante du **Honeywell 200**, capable d'exécuter les programmes de l'IBM 1401. Cette offensive menaçait la position dominante d'IBM sur le marché des ordinateurs commerciaux.

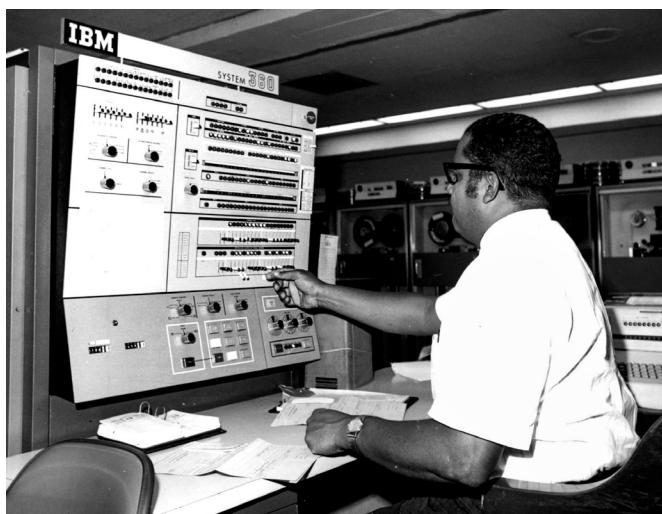


FIGURE 5.7 – Un IBM 360 – le 1er janvier 1969 à Washington

Auteur : Paul Steucke. Licence : Domaine public.

IBM décida alors de lancer une série d'ordinateurs de différentes puissances mais compatibles entre eux. IBM System/360, annoncé le 7 avril 1964, ne désigne pas une machine unique, mais une famille complète de

modèles d'ordinateurs dont la particularité est d'être compatibles entre eux (révolutionnaire à l'époque!). Cela marque un changement dans la stratégie d'IBM ainsi que le début de l'ère moderne de l'informatique, où les entreprises peuvent désormais capitaliser sur le développement de leurs logiciels.

En effet, IBM proposait principalement une gamme disparate de machines incompatibles entre elles, rendant les mises à niveau complexes pour les clients et générant une logistique lourde pour l'entreprise. Le *System/360* a révolutionné l'approche des systèmes informatiques en introduisant une famille d'ordinateurs compatibles, capables de couvrir une vaste gamme d'applications, aussi bien commerciales que scientifiques. Le choix du nombre **360** reflète cette ambition : proposer une architecture « à 360 degrés », c'est-à-dire capable de répondre à tous les besoins informatiques de l'époque — traitement de texte, calcul scientifique, gestion comptable, etc.

IBM investit près de 5 milliards de dollars dans ce projet, un montant sans précédent dans l'industrie informatique de l'époque. Ce pari s'avère payant : 1 100 unités sont commandées dès le premier mois. Le *System/360* s'impose rapidement comme un standard industriel et influence toute l'évolution ultérieure des ordinateurs centraux. Son système d'exploitation, OS/360, connaît cependant un démarrage difficile, avec des retards et des difficultés techniques.

Pour satisfaire cette diversité d'usages, IBM décline le *System/360* en plusieurs modèles. Chaque modèle est environ deux fois plus performant (en vitesse et en capacité de traitement) que le modèle immédiatement inférieur, pour un coût environ 40 % plus élevé. Cette approche permet aux entreprises de choisir une machine adaptée à leurs besoins réels, tout en gardant la possibilité de migrer vers un modèle supérieur sans changer de logiciels.

Enfin, pour accompagner cette gamme modulaire, IBM développe une grande variété de périphériques : unités de stockage, imprimantes, lecteurs de cartes, terminaux, chacun adapté à des besoins spécifiques. Cette logique d'ensemble — compatibilité, évolutivité, diversité des configurations — constitue l'un des piliers du succès du *System/360*.

L'une des innovations majeures du *System/360* réside dans sa capacité à exécuter un ensemble commun d'instructions sur différents modèles, grâce à la microprogrammation. Cette technique permettait de décliner les instructions en micro-opérations spécifiques à chaque implémentation, offrant ainsi une compatibilité ascendante et descendante sans précédent. De plus, le *System/360* a standardisé l'utilisation de l'octet à 8 bits et introduit des registres généralistes, simplifiant la conception et l'utilisation des systèmes informatiques. Jusque-là, l'unité était le mot, composé de caractères. A partir du *System/360* la plus petite case accessible devient le caractère

composé de 8 bits. Sur le plan technique, le System/360 pouvait adresser jusqu'à 16 Mo de mémoire, une capacité considérable pour l'époque. Les modèles haut de gamme atteignaient des fréquences de 5 MHz, tandis que les versions d'entrée de gamme fonctionnaient à 1 MHz. Certaines versions, introduites en 1966, étaient dotées d'une architecture en pipeline<sup>17</sup>, améliorant ainsi les performances de traitement. Parmi les autres apports notables, la série *System/360* introduit également un nouveau codage des caractères : le *EBCDIC* (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*). Ce codage, structuré sur 8 bits, permet de représenter un ensemble étendu de caractères alphanumériques ainsi que diverses commandes de contrôle. Le code EBCDIC fut introduit peu avant une autre norme appelée *ASCII*<sup>18</sup>, qui s'imposera progressivement comme standard dans le monde des micro-ordinateurs. Le System/360 a connu un succès commercial retentissant. Dès le premier mois, 1 100 unités furent vendues, dépassant largement les prévisions d'IBM. Cette réussite a engendré une vague de clones et a permis au System/360 de jouer un rôle clé dans des projets majeurs, notamment le programme spatial *Apollo*. En standardisant les interfaces et les méthodes, le System/360 a non seulement simplifié la production et la maintenance des ordinateurs, mais a également posé les bases des architectures futures. Son influence perdure, et de nombreux concepts introduits avec le System/360 restent fondamentaux dans les systèmes informatiques actuels.

## CDC 6600 (1964)

En 1964, la société américaine Control Data Corporation (CDC) bouscule le monde de l'informatique avec la sortie du **CDC 6600**, souvent considéré comme le premier véritable superordinateur. Conçu sous la direction du brillant ingénieur *Seymour Cray*, ce système allait non seulement établir de nouveaux standards en matière de performance, mais aussi influencer durablement l'architecture des machines à venir. Le CDC 6600 offrait une puissance de calcul sans précédent à son époque, capable d'exécuter plus

17. Technique permettant de traiter plusieurs instructions simultanément en les découpant en étapes successives.

18. Le code ASCII (American Standard Code for Information Interchange) utilise initialement 7 bits, mais un 8<sup>e</sup> bit — dit *bit de parité* — est parfois ajouté pour détecter des erreurs de transmission. Ce bit permet de vérifier si le nombre total de bits à 1 est pair (parité paire) ou impair (parité impaire). Le code ASCII sera ensuite étendu à 8 bits pour inclure les caractères accentués ou nationaux. Quelques années plus tard, Unicode s'imposera en englobant l'ensemble des systèmes d'écriture.

de 3 millions d'instructions par seconde (MIPS)<sup>19</sup>. Ce saut technologique fut rendu possible grâce à une combinaison d'innovations matérielles : l'utilisation de circuits à transistors très rapides, une organisation modulaire, une architecture parallèle exploitant dix processeurs périphériques dédiés aux entrées/sorties, et un processeur central entièrement optimisé pour le calcul scientifique. Contrairement aux machines précédentes, qui utilisaient une unité de contrôle centralisée, le CDC 6600 déchargeait les tâches d'entrée/sortie vers des unités autonomes, permettant au processeur principal de se consacrer exclusivement aux opérations mathématiques. Cette séparation des fonctions préfigure l'architecture des systèmes multiprocesseurs modernes.



FIGURE 5.8 – Superordinateur CDC 6600 (1964)

Auteur : Jitze Couperus. Licence : Creative Commons BY 2.0.

Le système était physiquement imposant, occupant plusieurs armoires et nécessitant un système de refroidissement sophistiqué. Mais sa rapidité attira immédiatement l'attention des grandes institutions scientifiques, notamment les laboratoires nationaux américains et les centres de recherche militaires. Le CDC 6600 conserva son titre de machine la plus rapide au monde jusqu'en 1969, date à laquelle il fut dépassé... par son successeur, le *CDC 7600*, toujours signé Seymour Cray. Ce succès commercial et technique assura à CDC une place de choix dans le domaine du calcul intensif durant les années 1960.

---

19. À titre de comparaison, les ordinateurs de la génération précédente se limitaient généralement à quelques centaines de milliers d'instructions par seconde.

## DEC PDP-8 (1965)

Au milieu des années 1960, IBM domine le marché de l'informatique avec sa gamme *System/360*, des ordinateurs centraux puissants mais coûteux, réservés aux grandes entreprises et institutions. Ces machines offrent une compatibilité logicielle inédite et des performances impressionnantes, mais restent inaccessibles à la majorité des acteurs économiques.

Le coût d'acquisition d'un mainframe *System/360* pouvait atteindre plusieurs millions de dollars, rendant leur possession prohibitive pour de nombreuses entreprises. Pour pallier cela, le modèle du *time-sharing* s'est développé, permettant à plusieurs utilisateurs de partager les ressources d'un même ordinateur central via des terminaux distants. Cette approche, bien que novatrice, impliquait une dépendance à des infrastructures complexes et à des opérateurs spécialisés.

C'est dans ce contexte que **Digital Equipment Corporation (DEC)** introduit en 1965 un ordinateur bien plus modeste, mais appelé à marquer l'histoire : le **PDP-8**, considéré comme le premier mini-ordinateur à succès commercial. Le PDP-8 se distingue par son prix particulièrement bas (18 500 \$ à son lancement, moins de 10 000 \$ pour la version PDP-8/S), son format compact, sa faible consommation et sa simplicité d'usage. Contrairement aux mainframes IBM, il peut être installé directement dans un laboratoire, une école ou une usine, et piloté par les utilisateurs eux-mêmes.



FIGURE 5.9 – Panneau de contrôle simulé du PDP-8/I.

Auteur : MIT - Licence libre (simulation).

L'avènement des circuits intégrés a été déterminant dans cette révolution. En remplaçant les composants discrets par des circuits intégrés, les coûts de fabrication ont chuté drastiquement, permettant de réduire le prix des ordinateurs d'un facteur 100. Cette avancée technologique a non seule-

ment rendu les mini-ordinateurs financièrement accessibles, mais a également éliminé le besoin de systèmes de refroidissement volumineux et de salles dédiées, caractéristiques des mainframes.

Avec ses circuits intégrés, son architecture 12 bits et son jeu d'instructions minimalistes, le PDP-8 est volontairement limité, mais il remplit efficacement des tâches simples : contrôle industriel, saisie de données, calculs scientifiques élémentaires. Malgré sa capacité mémoire réduite (4 K mots extensibles à 32 K), son absence de pile matérielle et ses performances modestes (environ 35 000 opérations par seconde), il rencontre un succès fulgurant, avec plus de 50 000 unités vendues.

Le PDP-8 inaugure ainsi une nouvelle catégorie de machines : les *mini-ordinateurs*, plus petits, moins chers, et destinés à des usages décentralisés. Là où les mainframes IBM restent confinés à des centres informatiques fermés, le PDP-8 amène l'informatique à portée d'un public plus large. Il marque une rupture avec le paradigme centralisé, amorce une démocratisation de l'ordinateur, et installe durablement DEC comme le principal concurrent d'IBM jusqu'à l'arrivée des micro-ordinateurs.

D'autres entreprises ont suivi cette voie, comme **Hewlett-Packard** avec le HP 2116, consolidant la place des mini-ordinateurs dans le paysage informatique et accélérant la transition vers des systèmes plus accessibles et polyvalents.

## Cray-1 (1976)

Le **Cray-1**, dévoilé en 1976 par *Seymour Cray*, est considéré comme le premier **superordinateur** commercial moderne. Son architecture à vecteurs révolutionne le calcul haute performance : au lieu de traiter des données élément par élément, le Cray-1 manipule des ensembles de données en une seule opération, optimisant ainsi la vitesse de traitement pour des tâches scientifiques et d'ingénierie intensives. Avec ses processeurs cadencés à 80 MHz et ses capacités de mémoire rapides, il atteint une performance théorique d'environ 160 MFLOPS, un record pour l'époque.

Son design emblématique en forme de fer à cheval, pensé pour réduire la longueur des connexions et donc améliorer la vitesse, devient une icône de l'informatique. Utilisé dans les domaines de la météorologie, de la physique nucléaire et de l'aéronautique, le Cray-1 marque l'avènement du **supercalculateur** spécialisé, ouvrant une nouvelle ère où la puissance brute devient un atout stratégique pour la recherche et la défense. Son succès établit durablement la domination de Cray Research sur le marché du calcul scientifique intensif.

## IBM 3033 (1977)

L'IBM 3033, surnommé *The Big One*, est un ordinateur central (main-frame) qu'IBM a présenté le 25 mars 1977 comme le nouveau modèle haut de gamme de sa gamme **System/370**. À la fin des années 1970, IBM domine le marché des grands systèmes, répondant à une demande croissante de puissance de calcul. Le 3033 succède au performant S/370 modèle 168, apportant une amélioration de performance significative (environ 1,6 à 1,8 fois plus rapide) tout en réduisant l'encombrement.

L'IBM 3033 est en avance sur son temps. Son processeur utilise une technologie appelée microcode<sup>20</sup>, cadencé à 17.2 MHz. Il est capable de traiter les instructions de manière efficace grâce à un pipeline d'instructions qui enchaîne les opérations plus rapidement et utilise une prédition pour anticiper les calculs. C'est également la première machine IBM à intégrer un cache de 64 Ko pour accélérer l'accès aux données, en stockant temporairement les informations les plus utilisées. La mémoire est organisée de manière intelligente avec 8 banques intercalées pour réduire les temps d'attente lors des lectures.

De plus, le 3033 prend en charge la mémoire virtuelle, une technique qui permet d'utiliser plus de mémoire que celle physiquement disponible, en traduisant rapidement les adresses virtuelles en adresses réelles grâce à un composant dédié appelé TLB.

En intégrant les canaux d'entrée-sortie à l'intérieur du châssis principal, le 3033 réduit de moitié la surface occupée par rapport aux modèles précédents de puissance équivalente. La dissipation thermique, critique pour ce type de machine, est maîtrisée grâce à un refroidissement à eau.

Pour vous convaincre que ça chauffe : en 1979, une compagnie d'assurances du New Jersey a profité d'une pénurie de gaz naturel pour utiliser la chaleur dégagée par ses trois IBM 3033 afin de chauffer ses locaux. Un week-end entier, les portes furent laissées ouvertes pour diffuser la chaleur dans les trois étages du bâtiment, permettant de réduire significativement la facture énergétique. Par la suite, un système de récupération de chaleur fut installé pour exploiter cette chaleur de manière plus structurée.

## VAX-11/780 (1977)

Le VAX-11/780, présenté par **Digital Equipment Corporation** (DEC) le 25 octobre 1977, est le premier modèle de la famille VAX, des ordina-

---

20. Le processeur à microcode utilise une couche intermédiaire de commandes appelées micro-instructions pour exécuter les instructions machine, ce qui simplifie sa conception et permet de gérer des instructions complexes.

teurs à architecture 32 bits. Il succède à la série PDP-11 (16 bits) tout en préservant la compatibilité avec les logiciels existants. VAX signifie *Virtual Address eXtension*, reflétant sa capacité à gérer un espace d'adressage plus large grâce à la mémoire virtuelle.

À la fin des années 1970, l'industrie informatique cherche à combler l'écart entre les mini-ordinateurs et les grands systèmes. Le VAX-11/780 répond à ce besoin en offrant la puissance d'un *mainframe* dans un format plus compact et abordable. Ce super mini-ordinateur devient rapidement populaire dans les universités et les centres de recherche.

Techniquement, le VAX-11/780 utilise une architecture CISC<sup>21</sup> (*Complex Instruction Set Computer*) 32 bits, dotée de plus de 200 instructions et de multiples modes d'adressage. Cette flexibilité facilite la programmation et permet de traiter des applications plus complexes. Pour assurer la compatibilité avec les anciens systèmes, il inclut un mode d'émulation PDP-11, garantissant l'exécution des anciens logiciels sans modification.

Sa capacité à gérer la mémoire virtuelle paginée permet de charger des applications volumineuses. Le processeur intègre 16 registres de 32 bits, offrant une puissance de calcul d'environ 0,5 à 1 MIPS. Pour évaluer cette performance, DEC introduit la notion de *VAX Unit of Performance* (VUP), utilisée comme référence pour les systèmes ultérieurs.

Une anecdote amusante illustre l'impact de cette machine : lors de l'assemblée annuelle des actionnaires en octobre 1977, DEC démontre la puissance du VAX-11/780 en lui faisant disputer une partie de Scrabble contre un joueur humain. La machine l'emporta en plaçant le mot *sensibly* (judicieusement) sur le plateau, marquant 127 points grâce au bonus pour l'utilisation de toutes les lettres. Cet événement marqua les esprits et symbolisa la puissance de calcul du VAX.

Le VAX-11/780 marque un tournant dans l'informatique des années 1980 en démocratisant l'accès à la puissance de calcul. Adopté dans les laboratoires et les entreprises, il influence durablement l'évolution des mini-ordinateurs et sert de plateforme de développement pour des systèmes d'exploitation comme VMS et UNIX BSD.

---

21. CISC (*Complex Instruction Set Computing*) désigne une architecture de processeur où les instructions sont complexes et nombreuses, permettant d'exécuter des tâches en moins d'instructions, mais souvent avec des cycles d'horloge plus longs. Elle s'oppose aux architectures RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), qui privilégient des instructions simples et rapides.

## IBM 3081 (1980)

L'IBM 3081, commercialisé à partir de 1981, est le premier modèle de la **famille 308X**, conçu pour succéder aux IBM 3033 dans la gamme des grands systèmes. Annoncé en novembre 1980, il marque une avancée importante pour IBM qui doit faire face à la concurrence croissante d'autres fabricants de mainframes.

Le 3081 se distingue par son architecture multiprocesseur innovante, intégrant deux processeurs dans un même châssis. Ces unités de calcul travaillent ensemble, partageant la même mémoire cache, pour offrir une puissance de traitement environ deux fois supérieure à celle de l'IBM 3033. Chacun des processeurs est cadencé à une fréquence élevée pour l'époque, près de 38,5 MHz.

L'une des principales évolutions du 3081 est l'extension de l'adressage mémoire en 31 bits, permettant de dépasser la limite de 16 Mo imposée par les modèles précédents. Cette avancée ouvre la voie à des applications plus volumineuses et plus complexes. La technologie LSI (Large Scale Integration) permet d'intégrer près de 800 000 circuits dans un volume réduit, réduisant ainsi la consommation énergétique du système, qui passe de 68 kW pour le 3033 à environ 23 kW pour le 3081.

Pour gérer la dissipation thermique, IBM adopte un refroidissement par eau, essentiel pour maintenir la stabilité des composants intégrés. En cas de panne d'un des processeurs, le système peut isoler la partie défectueuse et continuer à fonctionner sur l'autre unité, garantissant ainsi une haute disponibilité..

## IBM AS/400 (1988)

Je me souviens non sans nostalgie de cet ordinateur qui équipait notre lycée lorsque j'étais étudiant en BTS Informatique de gestion dans la belle ville de Valenciennes. Par rapport à nos compatibles PC de l'époque, il impressionnait par sa taille, la richesse de son système d'exploitation, et surtout, nous avions le plaisir — que dis-je, le luxe — de pouvoir programmer en *COBOL* sur une véritable machine professionnelle.

Lancé en 1988, l'**IBM AS/400** (pour *Application System/400*) destiné à succéder aux mini-ordinateurs *System/36* et *System/38*<sup>22</sup>. Il vise à offrir

---

22. Le *System/36* (1983) visait la simplicité pour les PME avec des applications de gestion classiques. Le *System/38* (1979), plus ambitieux, introduisait des concepts avancés comme l'adressage mémoire unifié et les objets, qui serviront de base à l'architecture de l'AS/400. Ces deux systèmes ciblent tous deux le marché des mini-ordinateurs (midrange systems) — c'est-à-dire des systèmes intermédiaires entre les grands mainframes et les micro-ordinateurs.

une plateforme unifiée, stable et simple d'utilisation pour les entreprises de taille moyenne. Grâce à cette approche, IBM a rapidement rencontré le succès, avec plus de 100 000 systèmes installés dès les deux premières années.

L'une des grandes forces de l'AS/400 réside dans son système d'exploitation natif, l'*OS/400*, conçu pour simplifier l'administration, automatiser les sauvegardes et intégrer nativement une base de données relationnelle. L'utilisateur n'avait pas besoin d'installer un système externe ni de configurer une base de données manuellement : tout était intégré et optimisé dès la livraison. En effet, l'AS/400 intègre une base de données relationnelle (DB2/400), accessible sans surcoût ni logiciel additionnel. Étroitement liée au système, elle s'administre automatiquement et supporte à la fois SQL et un langage de définition propriétaire (DDS), assurant une grande souplesse d'utilisation.

L'architecture matérielle de l'AS/400 repose sur un jeu d'instructions abstrait (TIMI), permettant une indépendance matérielle. Cette abstraction permet de faire évoluer le matériel (passage du CISC au RISC) sans recompilation des logiciels. Le système est ainsi resté compatible à travers les générations, y compris après l'adoption de processeurs *PowerPC*.

La plateforme prend en charge plusieurs langages, en particulier RPG (Report Program Generator), très utilisé dans les applications de gestion. D'autres langages comme COBOL, CL (Control Language), SQL, et plus tard C, C++ et Java, sont aussi supportés. Cette diversité facilite le développement d'applications métier robustes.

IBM a conçu l'AS/400 avec une compatibilité descendante exceptionnelle. Les applications des *System/36* et *System/38* peuvent être utilisées sur AS/400 sans modification, et les programmes compilés en 1988 peuvent encore s'exécuter sur les serveurs modernes IBM i, garantissant un retour sur investissement logiciel durable. Grâce à sa stabilité, son évolutivité, et ses mécanismes de sécurité avancés, l'AS/400 est rapidement devenu un standard dans de nombreux secteurs comme la banque, la distribution ou l'administration publique. Sa réputation de fiabilité était telle qu'on le surnommait parfois » *la machine qui ne tombe jamais en panne* » .

L'AS/400 a évolué au fil des années en *IBM iSeries*, puis en *System i*, avant de devenir *IBM i* sur Power Systems en 2008. Cette évolution a permis à la plateforme de rester technologiquement à jour tout en maintenant une compatibilité totale avec ses applications historiques.

L'héritage de l'AS/400 se perpétue à travers la plateforme *IBM Power Systems* et son système d'exploitation *IBM i*, preuve de la longévité exceptionnelle de cette architecture qui continue de susciter le respect plus de trois décennies après sa naissance.

## IBM ES/9000 (1990)

La famille IBM Enterprise System/9000 (ES/9000), lancée en 1990, succède au vénérable mainframe 3090 et introduit l'ère des connexions par fibre optique (ESCON) dans les grands systèmes. Fondée sur l'architecture S/390 (Enterprise Systems Architecture/390), elle peut rassembler jusqu'à huit processeurs au sein d'un même système logique et autorise la création de partitions virtuelles pour exécuter simultanément plusieurs systèmes d'exploitation.

Ces ordinateurs offrent une mémoire centrale atteignant plusieurs gigaoctets – une capacité considérable pour l'époque – et des débits d'entrée-sortie fortement accrus grâce aux canaux ESCON. Au tournant des années 1990, alors que la montée des réseaux locaux et des serveurs Unix fait craindre le déclin des ordinateurs centraux, l'ES/9000 démontre la faculté d'IBM à innover pour maintenir sa suprématie en calcul d'entreprise.

## eServer z10 EC (2008)

L'IBM System z10 Enterprise Class, souvent appelé eServer z10 EC, est un mainframe de nouvelle génération conçu pour l'ère des services Internet et de la virtualisation. Ce système massif réunit jusqu'à plusieurs dizaines de processeurs multicoeurs cadencés à 4,4 GHz et peut accueillir une mémoire colossale de l'ordre du téraoctet, offrant une puissance de calcul et de stockage hors norme. Il dispose de centaines de canaux d'entrée-sortie à haute vitesse (ESCON, FICON pour la fibre optique, et OSA pour le réseau), lui permettant de communiquer avec un grand nombre de périphériques simultanément.

Grâce à la virtualisation avancée (PR/SM) et à des processeurs spécialisés intégrés (tels que les IFL pour Linux, zAAP pour Java ou zIIP pour les transactions), un z10 peut remplacer à lui seul des dizaines de serveurs distribués. Offrant une disponibilité quasi continue (99,999%) et une compatibilité logicielle remontant jusqu'au System/360, le z10 illustre la pérennité du mainframe : loin de disparaître, il s'impose comme une plateforme de consolidation et de fiabilité pour les entreprises à l'aube du cloud computing.

## IBM zEnterprise 196 (2010)

L'IBM zEnterprise 196, lancé en 2010, inaugure une nouvelle approche « hybride » du mainframe. Doté de microprocesseurs à quatre coeurs cadencés à 5,2 GHz – les plus rapides du monde à sa sortie – et totalisant jusqu'à 96 coeurs, il atteint un niveau de performance sans précédent pour un ordi-

nateur central. Chaque système peut gérer plusieurs téraoctets de mémoire et exécuter plus de 50 milliards d'instructions par seconde, tout en restant compatible avec les logiciels hérités depuis la *génération System/360*.

En outre, le z196 introduit l'idée d'un « data center in a box » : grâce à l'extension BladeCenter zBX, on peut adjoindre au mainframe des serveurs lames Power (pour AIX) ou x86 (pour Linux) et administrer l'ensemble de manière unifiée. Par cette conception novatrice alliant puissance, fiabilité et orchestration hétérogène, IBM réaffirme le rôle central du mainframe dans les centres de calcul modernes.

## **IBM zEnterprise EC12 (2012)**

L'IBM zEnterprise EC12, lancé en 2012, constitue l'évolution suivante des mainframes IBM et met l'accent sur la performance et la sécurité à l'ère du cloud computing. Son processeur à six cœurs pousse la fréquence d'horloge à 5,5 GHz – une prouesse technique – et adopte une micro-architecture d'exécution *out-of-order* pour accroître le débit d'instructions.

Une configuration complète peut regrouper jusqu'à 120 cœurs (dont 101 activés pour les charges de travail) et 3 téraoctets de mémoire redondante (RAIM), offrant une capacité de traitement colossale pour les applications transactionnelles et analytiques.

Le zEC12 est le premier système commercial à intégrer la mémoire transactionnelle en matériel, optimisant la gestion des accès concurrents aux données et améliorant sensiblement les performances en environnement multithread sans alourdir le développement logiciel. Par ailleurs, ce modèle renforce les capacités cryptographiques et introduit des interfaces d'E/S modernisées (PCIe 3.0) conformes aux normes contemporaines. En consolidant ces avancées, le zEC12 confirme le leadership d'IBM en calcul haute fiabilité et fournit aux entreprises une plateforme robuste pour traiter en toute sécurité d'immenses volumes de données.

## **IBM z13 à z16 (2015-2022)**

La génération de mainframes IBM sortie entre 2015 et 2022 (z13, z14, z15 et z16) illustre l'adaptation permanente de cette plateforme aux nouveaux besoins du numérique, tout en conservant la compatibilité héritée des générations précédentes.

L'IBM z13 (2015) est optimisé pour l'essor des services mobiles et du Big Data : il introduit pour la première fois l'exécution multithread sur mainframe afin d'accroître le débit des transactions et des analyses en temps réel.

Le z14 (2017) met l'accent sur la sécurité des données avec un chiffrement omniprésent (« pervasive encryption »), qui permet de chiffrer systématiquement toutes les informations sans impact notable sur les performances.

Le z15 (2019) est conçu pour le cloud hybride : il offre une gestion plus flexible des ressources (activation à la demande, récupération accélérée après incident) et inaugure des fonctions avancées de protection de l'information, tel le système Data Privacy Passports qui maintient le contrôle des données même hors du mainframe.

Enfin, le z16 (2022) intègre l'intelligence artificielle au cœur du système avec sa puce Telum embarquant des accélérateurs d'IA dédiés, autorisant par exemple la détection instantanée de fraudes au sein même des flux transactionnels. Ces évolutions démontrent comment IBM continue de faire du mainframe une plateforme incontournable en entreprise, alliant tradition et innovation technologique.

## 5.2 Les ordinateurs européens des années 1950

Dans la même période, plusieurs pays européens ont développé des calculateurs ou des ordinateurs utilisant des technologies antérieures aux transistors, principalement basées sur des tubes à vide comme aux Etats-Unis ou des relais électromécaniques.

### — Royaume-Uni :

- **Manchester Mark I (1949)** : Développé à l'Université de Manchester, le Manchester Mark I est l'un des premiers ordinateurs à programme enregistré. Il utilisait des tubes à vide pour ses circuits logiques et des lignes à retard à mercure pour sa mémoire.
- **EDSAC (1949)** : Conçu à l'Université de Cambridge, l'EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) est considéré comme l'un des premiers ordinateurs à programme enregistré opérationnels. Il employait des tubes à vide pour le traitement et des lignes à retard à mercure pour le stockage des données.

### — France :

- **GAMMA 3 (1952)** : Développé par la société Bull, le GAMMA 3 est une machine hybride combinant des éléments de tabulatrice et de calculateur. Il utilisait des tubes à vide pour ses opérations logiques.
- **CAB 500 (1957)** : Conçu par la Compagnie des Machines Bull,

le CAB 500 est un calculateur électronique destiné à des applications scientifiques et techniques, utilisant des tubes à vide pour le traitement des données.

— **Italie :**

- **Macchina Ridotta (1957)** : Développé par l’Université de Pise, ce calculateur utilisait des tubes à vide et est considéré comme l’un des premiers ordinateurs italiens.

— **Suède :**

- **BARK (1950)**(Binär Automatisk Relä-Kalkylator) est un calculateur électromécanique suédois achevé en 1950. Construit par le Matematikmaskinnämnden (Comité suédois pour les machines mathématiques), il utilisait environ 8 000 relais téléphoniques standard, 80 km de câbles et comptait 175 000 points de soudure. Le BARK fonctionnait avec une arithmétique binaire sur 32 bits, réalisant une addition en 150 ms et une multiplication en 250 ms. Sa mémoire initiale comprenait 50 registres et 100 constantes, et a ensuite été étendue. La programmation se faisait via un tableau de connexions (plugboard), sans utilisation de bandes perforées ou de dispositifs similaires. Le BARK est resté opérationnel jusqu’en 1954. Une anecdote notable : Howard Aiken, pionnier de l’informatique, aurait déclaré à propos du BARK : » *C'est le premier ordinateur que j'ai vu en dehors de Harvard qui fonctionne réellement.* «

Ces machines illustrent les efforts européens dans le développement de l’informatique avant l’adoption généralisée des transistors.

### 5.3 La première génération : les Tubes à vide

La première génération d’ordinateurs, qui s’étend de la fin de la Seconde Guerre mondiale au milieu des années 1950, repose sur un socle technologique aujourd’hui archaïque, mais qui constitue la base de l’informatique moderne. Ces machines pionnières, à la croisée de l’électronique, de la mécanique et de l’ingénierie militaire, présentaient des caractéristiques techniques spécifiques qui méritent une analyse approfondie.

#### Les tubes à vide

Le composant central des premières générations d’ordinateurs est sans conteste le **tube électronique à vide**, utilisé comme amplificateur et

commutateur. Chaque bit était représenté par l'état d'un tube, passant de conducteur à bloqué selon la tension appliquée. Les premiers prototypes, souvent désignés comme la « génération 0 », utilisaient des tubes de grande taille, peu fiables et très énergivores. Ces tubes présentaient d'importants inconvénients : une consommation énergétique massive, une dissipation thermique considérable et une faible durée de vie (quelques centaines d'heures). Sur des machines comme l'ENIAC, qui en embarquait plus de 17 000, les pannes étaient quotidiennes.

Avec l'avènement de la première génération d'ordinateurs commerciaux dans les années 1950, des versions miniaturisées de ces tubes ont été développées. Ces tubes à vide miniaturisés étaient plus fiables et consommaient moins d'énergie que leurs prédecesseurs, permettant ainsi une amélioration significative des performances et de la fiabilité des machines de cette époque.

## Mémoire et stockage

Les solutions de mémoire vive étaient encore expérimentales<sup>23</sup> et limitées. Les plus utilisées incluaient :

- Les **lignes à délai au mercure** : de longs tubes contenant du mercure dans lesquels une onde sonore représentait l'information binaire. Chaque bit circulait de manière séquentielle dans la ligne, créant une forme primitive de mémoire dynamique avec un accès strictement linéaire.
- Les **tubes Williams**, qui exploitaient les propriétés des tubes cathodiques (CRT) pour stocker des charges électriques sur un écran. Cette méthode permettait un accès plus rapide, mais souffrait d'une fiabilité médiocre et d'une faible capacité.
- Les **tambours magnétiques**, introduits dès la fin de cette génération, constituaient les prémisses de la mémoire secondaire magnétique, bien que leur accès reste séquentiel et relativement lent.

Ces mémoires offraient des capacités très limitées (de l'ordre de quelques kilooctets) et demandaient une logique de programmation adaptée à leurs contraintes : circularité, temps d'attente, rafraîchissement ou synchronisation.

---

23. Voir aussi la section dédiée à l'évolution des technologies de mémoire, page 149.

## Traitement séquentiel et absence de standardisation

Les ordinateurs de cette période fonctionnaient en mode strictement **séquentiel**, souvent sans interruption ni multitâche. Chaque instruction était lue, décodée, exécutée puis suivie de la suivante, sans gestion de contexte ni optimisation. En l'absence d'un modèle formel standard comme celui de von Neumann (encore en phase de formalisation), chaque constructeur concevait sa propre architecture, son jeu d'instructions et son langage machine. Ainsi, la compatibilité entre machines était inexistante, et chaque programme devait être écrit sur mesure. La maintenance et l'évolution logicielle étaient donc extrêmement coûteuses et dépendantes des équipes techniques sur site.

## Langage machine et codage binaire

La programmation s'effectuait en langage machine, directement via des suites de bits ou de codes hexadécimaux représentant les instructions du processeur. L'absence d'assembleur ou de langage de haut niveau obligeait les programmeurs à une maîtrise fine de l'architecture interne et de la gestion mémoire. Le codage binaire était encore un sujet de débat à l'époque, certains systèmes ayant même recours à la représentation décimale (comme le Harvard Mark I), bien que le binaire s'imposa rapidement pour des raisons d'efficacité.

## Entrées/sorties et interfaces

Les interfaces homme-machine étaient rudimentaires. L'entrée des données se faisait principalement par **cartes perforées** ou **bandes perforées**, tandis que les résultats étaient affichés sur des imprimantes mécaniques ou des télescripteurs. La latence entre l'écriture du programme et l'obtention d'un résultat pouvait être de plusieurs heures, voire jours, en fonction de la charge du système et de la complexité du traitement.

## Environnement et fiabilité

Ces ordinateurs nécessitaient des salles climatisées, une alimentation électrique stabilisée et une équipe de techniciens pour assurer le bon fonctionnement. La fiabilité était faible : les pannes matérielles étaient fréquentes, et leur débogage complexe.

## Une informatique encore artisanale

Cette première génération s'inscrit dans une logique artisanale, où chaque machine est un projet unique, conçu pour un usage spécifique (calcul balistique, simulation nucléaire, prévisions météorologiques...). Ce n'est qu'avec l'introduction des transistors et des circuits standardisés que naîtra une industrie informatique au sens moderne. En résumé, la première génération

d'ordinateurs pose les fondations techniques de l'informatique, mais dans un contexte de tâtonnements et d'inventions empiriques. Ces machines étaient des prouesses d'ingénierie, limitées par les technologies disponibles, mais décisives dans la structuration des concepts fondamentaux qui préfigureront les générations suivantes.

## 5.4 La deuxième génération : les transistors

La deuxième génération qu'on peut situer entre **1956 et 1963** marque une transition majeure dans l'histoire de l'informatique, en remplaçant les tubes à vide par les **transistors**. Cette évolution, d'apparence matérielle, a en réalité déclenché une transformation en profondeur des architectures, de la fiabilité, des performances et même des usages de l'informatique.

### Le transistor comme point de rupture

Inauguré dans des machines comme le *TRADIC* ou le *IBM 7090*, le transistor – inventé en 1947 mais produit en masse seulement dans les années 1950 – devient le composant actif de référence. Plus petit, moins gourmand en énergie, bien plus fiable et beaucoup plus rapide que le tube à vide, il permet une densité de calcul accrue, une miniaturisation relative des composants, et surtout une réduction considérable des pannes. Ainsi, des ordinateurs comme le *Philco Transac S-2000*, l'*IBM 7090* ou encore le *UNIVAC 1107* témoignent de cette montée en puissance. La multiplication des transistors permet d'intégrer davantage de logique dans le processeur, d'accélérer les opérations et de fluidifier les échanges avec la mémoire.

### Vers une structuration logique plus avancée

La deuxième génération voit se généraliser des concepts qui deviendront des standards :

- L'adoption plus systématique de l'**architecture de von Neumann**, avec unité de contrôle, unité arithmétique et mémoire partagée.

- L'introduction de **registres internes** plus nombreux, facilitant le traitement rapide des données.
- L'apparition de la **mémoire adressable par mot**, permettant un accès plus souple et plus rapide à l'information que dans les mémoires à délai.

On commence à entrevoir une segmentation logique des machines (unités d'entrées/sorties, mémoire, processeur), ouvrant la voie à des évolutions modulaires futures.

## La mémoire centrale magnétique

Déjà utilisée dans quelques machines de la première génération, la mémoire centrale à **tore de ferrite** devient ici la norme. Plus stable, capable de conserver les données sans alimentation, elle permet un accès véritablement aléatoire, une haute fiabilité, et une vitesse de l'ordre de 2 à 10 microsecondes selon les modèles. Les capacités augmentent progressivement, atteignant plusieurs dizaines de kilo-octets dans les ordinateurs de cette génération, ce qui permet de traiter des programmes plus complexes, d'exécuter plusieurs tâches successives, et d'envisager des systèmes d'exploitation rudimentaires.

## Les langages de programmation de haut niveau

La deuxième génération n'est pas seulement une rupture matérielle. Elle est aussi la première à permettre une **programmation abstraite**, grâce à l'émergence de langages comme :

- *FORTRAN* (1957) : langage scientifique, utilisé pour le calcul numérique.
- *COBOL* (1959) : destiné aux applications de gestion, avec une syntaxe proche de l'anglais.
- *ALGOL* (1958) : important dans la formalisation des structures de contrôle (boucles, blocs, ...).

Ces langages, traduits par des *compilateurs*, réduisent le temps de développement, facilitent la maintenance, et permettent à l'informatique de sortir du cercle fermé des spécialistes du binaire.

## Naissance des systèmes d'exploitation

C'est également à cette époque que naissent les premiers **systèmes d'exploitation rudimentaires**. Ceux-ci ne sont pas encore interactifs,

mais permettent :

- le traitement par *lots* (batch processing),
- la gestion des entrées/sorties,
- une première abstraction matérielle,
- et parfois même une planification de tâches simples (scheduling).

Des machines comme l'*IBM 1401*, malgré leur modestie, ouvrent la voie à l'informatisation de milliers d'entreprises, grâce à leur coût réduit et à leurs performances équilibrées.

## Fiabilité et généralisation

Grâce aux transistors, les ordinateurs deviennent plus fiables, demandent moins de maintenance, et s'installent en entreprise, en administration, dans la recherche. Ce passage à l'échelle marque la fin du temps des prototypes uniques et le début d'un marché industriel de l'informatique. Les coûts restent élevés, mais de plus en plus d'acteurs comprennent que le retour sur investissement est réel. C'est également à cette époque que l'on commence à parler d'« unités centrales », de « terminaux distants », et de mise en réseau locale dans les environnements professionnels.

En conclusion, la deuxième génération d'ordinateurs inaugure une informatique plus stable, plus fiable et plus productive. En combinant les avantages du transistor, de la mémoire magnétique et des premiers langages de haut niveau, elle permet le passage d'une informatique de laboratoire à une informatique d'entreprise, préfigurant les grandes architectures des années 1960 et 1970. Les ordinateurs à tubes à vide, bien que pionniers, étaient encombrants, énergivores et sujets à des pannes fréquentes en raison de la fragilité des tubes. L'invention du transistor en 1947 par les laboratoires Bell a marqué une rupture technologique majeure. Remplaçant les tubes à vide, les transistors ont permis de concevoir des ordinateurs plus compacts, plus fiables et moins gourmands en énergie. Cette transition a ouvert la voie à la miniaturisation des composants électroniques, rendant l'informatique accessible à un public plus large. Ainsi, l'adoption des transistors a non seulement amélioré les performances des machines, mais permis à l'informatique de mieux s'intégrer dans la société.

## 5.5 La troisième génération : les circuits intégrés

La troisième génération qui va environ de **1964 à 1971** inaugure une nouvelle rupture technologique : celle des **circuits intégrés**. Alors que

les transistors discrets ont révolutionné la fiabilité dans la génération précédente, c'est désormais leur miniaturisation et leur intégration sur une même puce qui changent les règles du jeu. Cette avancée, portée par la loi de Moore naissante, va transformer en profondeur les capacités, la maintenance, les coûts et l'évolutivité des systèmes informatiques.

## Les circuits intégrés : la miniaturisation du calcul

À partir de 1964, les ordinateurs commencent à être construits avec des circuits intégrés à petite échelle (*Small-Scale Integration*, ou SSI), regroupant plusieurs transistors sur une seule puce de silicium. Cette densité croissante permet :

- une réduction considérable de l'encombrement des unités centrales,
- une chute des coûts de fabrication et de maintenance,
- une baisse de la consommation énergétique,
- et une augmentation significative des performances.

C'est cette technologie qui permet la construction de machines plus compactes, plus puissantes, mais aussi plus standardisées.

## Vers une compatibilité ascendante

L'un des apports majeurs de cette génération est introduit avec le lancement de l'**IBM System/360** (1964), qui impose une idée novatrice : la compatibilité ascendante. Tous les modèles partagent une architecture commune, du plus petit au plus puissant, et les programmes développés pour une machine peuvent être exécutés sur une autre sans être réécrits. Cette normalisation rend possible :

- une planification à long terme des investissements,
- une formation unifiée des programmeurs,
- et une portabilité des logiciels à l'échelle industrielle.

Ce modèle sera repris par la plupart des constructeurs et constitue encore aujourd'hui un principe fondamental dans l'évolution des familles de processeurs.

## L'évolution des mémoires

La mémoire centrale reste basée sur les **tores de ferrite**, mais les circuits intégrés permettent d'en améliorer la densité et la vitesse. Les tailles standards évoluent rapidement : on passe de quelques dizaines à plusieurs centaines de kilo-octets, voire plusieurs méga-octets sur les grandes machines. De plus, l'utilisation de **mémoires secondaires** se généralise :

disques magnétiques, bandes et tambours deviennent des composants indispensables pour la gestion des fichiers, les bases de données naissantes et les traitements batch à grande échelle.

## Les systèmes d'exploitation se structurent

Grâce à une puissance accrue, les systèmes d'exploitation deviennent plus sophistiqués. On assiste à l'émergence de :

- la **multiprogrammation** (exécution simultanée de plusieurs programmes),
- la **gestion des interruptions** pour les périphériques,
- le **partage de ressources** (mémoire, processeur),
- l'introduction de **langages de commande** et d'interface en ligne (type JCL sur les machines IBM).

On parle désormais d'« exploitation » du système, car celui-ci devient une couche logicielle complète, gérant les priorités, les accès mémoire, et l'ordonnancement des tâches.

## Langages et compilation

La troisième génération confirme la domination des **langages compilés** :

- FORTRAN continue d'évoluer pour le calcul scientifique,
- COBOL devient incontournable pour la gestion d'entreprise,
- ALGOL influence la théorie de la programmation structurée,
- PL/I (Programming Language One), lancé par IBM, tente une unification des besoins scientifiques et commerciaux.

Les compilateurs deviennent plus performants, intégrant parfois des optimisations automatiques et des vérifications statiques avancées.

## La montée en puissance des bases de données et des télécoms

L'accroissement des capacités de traitement et de mémoire permet le développement des premiers **systèmes de gestion de bases de données**, même rudimentaires, en réponse aux besoins de l'administration et des grandes entreprises. Parallèlement, les ordinateurs commencent à être reliés à des **terminaux** distants par lignes téléphoniques ou liaisons spécialisées, préparant l'avènement du temps partagé et des premiers réseaux d'entreprise. On parle de plus en plus d'informatique comme d'un « centre de services ».

En somme, la troisième génération d'ordinateurs correspond à la naissance de l'informatique moderne : puissance, fiabilité, standardisation, com-

patibilité, interopérabilité et organisation logicielle cohérente. Elle constitue le socle sur lequel les grandes architectures des années 1970 et 1980, ainsi que la micro-informatique, vont se développer.

## 5.6 La quatrième génération : le microprocesseur

On trouve ici la 4ème génération qui s'étale de 1971 à 1985.

En 1971, Intel a introduit le premier microprocesseur<sup>24</sup> commercial, l'*Intel 4004*, capable d'exécuter des instructions directement sur une seule puce. Conçu initialement pour des calculatrices, ce microprocesseur a marqué le début d'une nouvelle ère. Les modèles suivants, comme l'*Intel 8008* et l'*Intel 8080*, ont rapidement trouvé leur place dans des machines comme l'*Altair 8800*, annonçant l'arrivée des premiers ordinateurs personnels.

Ces microprocesseurs, combinés aux circuits intégrés, ont permis de réduire la taille, le coût et la complexité des ordinateurs, ouvrant ainsi la voie à la micro-informatique. Alors que les premiers ordinateurs occupaient une pièce entière, les microprocesseurs ont rendu possible la création de machines suffisamment compactes pour tenir sur un bureau. Des entreprises comme *Apple*, *Commodore*, et *IBM* ont pu créer des ordinateurs destinés à un usage personnel.

Mais au début des années 1970, l'idée que des ordinateurs personnels puissent trouver leur place dans les foyers semblait absurde pour beaucoup. Les ordinateurs étaient perçus comme des outils professionnels, réservés aux entreprises ou aux laboratoires. Pourtant, un petit groupe de passionnés, souvent qualifiés de « *geeks* » ou de « *nerds* »<sup>25</sup>, a vu dans ces nouvelles machines à microprocesseurs une opportunité de repousser les limites de leur créativité technologique.

Un exemple emblématique est le *Homebrew Computer Club*, fondé en 1975 dans la Silicon Valley. Ce club réunissait des ingénieurs, des programmeurs, et des amateurs éclairés fascinés par les possibilités des ordinateurs personnels. Parmi eux figuraient Steve Wozniak et Steve Jobs, qui allaient bientôt créer l'Apple I.

Ces passionnés consacraient leurs soirées à démonter des machines, écrire du code et partager leurs découvertes. L'image du « *nerd* » enfermé dans sa chambre, programmant pendant des heures avec une pizza et une boisson gazeuse très sucrée, trouve son origine dans cette époque. Cepen-

24. Voir chapitre 7 : Les grandes inventions.

25. Le terme *geek* désigne un passionné de culture technologique ou populaire (jeux vidéo, informatique, science-fiction), tandis que le *nurde* (ou nerd) renvoie plutôt à un profil intellectuel, studieux et tourné vers les sciences, souvent plus introverti.

dant, cette passion ne se limitait pas au simple fait de bricoler des machines : elle marquait le début de la « culture geek ».

Les premières machines, comme l'*Altair 8800* ou le *Kim 1*, s'adressaient à un marché de niche et étaient vendues sous forme de kits à assembler. Bien que peu pratiques, ces kits représentaient pour ces amateurs un terrain d'expérimentation où ils pouvaient tester leurs idées et imaginer un futur où l'informatique serait accessible à tous.

Les « geeks » voyaient un potentiel immense dans ces machines, même si beaucoup les percevaient comme des excentriques. Les grandes entreprises, comme IBM, ne croyaient pas encore au potentiel de l'informatique personnelle. Mais pour ces passionnés, ces ordinateurs étaient bien plus que des gadgets : ils allaient transformer la manière de travailler, d'apprendre, et de se divertir.

Steve Jobs résumait cette époque en disant : « *Nous étions juste un groupe de jeunes qui jouaient avec des gadgets électroniques, mais nous avions une vision : rendre ces machines accessibles à tous.* »

## Le micral premier micro-ordinateur

**Le Micral N**, conçu par l'ingénieur français *François Gernelle* et commercialisé en 1973 par la société R2E (Réalisation d'Études Électroniques), est souvent présenté comme le premier micro-ordinateur de l'histoire. Ce fut le premier ordinateur commercial à intégrer un microprocesseur, l'Intel 8008, et il était principalement destiné à des usages scientifiques et industriels.

Cependant, le titre de « premier micro-ordinateur » est sujet à débat, selon les critères retenus. Par exemple, le *Kenbak-1*, introduit en 1971, est parfois désigné comme le premier ordinateur personnel. Contrairement au Micral N, il ne reposait pas sur un microprocesseur, mais sur des circuits logiques discrets.

Pour certains, un micro-ordinateur doit impérativement inclure un clavier et un écran pour mériter ce qualificatif. Ainsi, ni le Micral N ni l'Altair 8800, bien que révolutionnaires pour leur époque, ne remplissent ces critères. Cette pluralité de perspectives illustre la complexité à définir ce qu'est véritablement le premier micro-ordinateur. Ce débat reflète une forme de quête pour désigner l'ancêtre de ce qui allait bouleverser l'humanité.

Mais revenons à notre Micral, il est le résultat d'une commande de l'INRA (Institut National de Recherche en Agronomie) faite en juin 1972 cherchait une solution informatique pour le contrôle de processus dans ses mesures d'évapotranspiration des cultures. Plutôt que d'utiliser des mini-ordinateurs coûteux comme le PDP-8, l'INRA a sollicité R2E pour déve-

lopper une alternative plus abordable. François Gernelle, avec son équipe, a relevé le défi en concevant le Micral N autour du microprocesseur Intel 8008, cadencé à 500 kHz.

Pesant environ 8,2 kg et mesurant 13 cm de hauteur, 43 cm de longueur et 44 cm de profondeur, il était destiné à des applications scientifiques et industrielles, généralement dans des environnements fixes mais pouvait facilement être transporté d'un lieu à un autre.

## Caractéristiques techniques du Micral N

- **Processeur** : Intel 8008 cadencé à 500 kHz.(8 bits)
- **Mémoire** : Utilisation de mémoire MOS en remplacement de la mémoire à tores de ferrite traditionnelle. 16 Ko extensible à 64 Ko.
- **Son** : 1 voie
- **Bus** : Backplane nommé *Pluribus* avec connecteur à 74 broches, permettant l'ajout de 14 cartes, extensible à 24 cartes avec deux backplanes.
- **Entrées/Sorties** : Prise en charge des E/S parallèles et série, avec 8 niveaux d'interruption et une pile.
- **Programmation** : Réalisée via bande perforée, avec utilisation d'un télécopieur ou d'un modem pour les entrées et sorties.
- **Interfaces** : Pas de clavier et pas d'écran. Le panneau de contrôle en façade était optionnel, offrant aux clients la possibilité de concevoir leur propre interface en fonction de leurs besoins spécifiques.

## L'Altair 8800 premier micro-ordinateur pour Geek

En janvier 1975, la société *MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems)* lance l'**Altair 8800**, souvent qualifié de premier micro-ordinateur personnel à succès commercial. Pourtant, à l'origine, MITS ne visait que la vente de quelques centaines d'unités. Ce qui change tout, c'est la couverture du magazine *Popular Electronics* de janvier 1975. En lettres capitales, le titre accrocheur proclamait : « *World's First Minicomputer Kit to Rival Commercial Models... 'ALTAIR 8800' SAVE OVER \$1000* »<sup>26</sup>, accompagné d'une grande photo de l'Altair 8800. Ce visuel emblématique fait sensation parmi les amateurs d'électronique.

À l'époque, *Popular Electronics*, publié par Ziff-Davis Publishing Company, était une bible pour les passionnés d'électronique et d'informatique.

---

26. Traduction : Le premier kit de minicomputer au monde capable de rivaliser avec les modèles commerciaux... 'ALTAIR 8800', économisez plus de 1000 \$.

Le format kit de l'Altair 8800, à assembler soi-même, s'inscrivait parfaitement dans l'esprit des bricoleurs chevronnés et des curieux armés de fers à souder. Loin d'être conçu pour les entreprises, l'Altair s'adressait à ces pionniers amateurs qui allaient, sans le savoir, poser les bases de l'ère de la micro-informatique.

Le nom « Altair » a été attribué au micro-ordinateur Altair 8800 en référence à l'étoile Altair, l'une des plus brillantes du ciel. D'après une anecdote, la fille de Les Solomon, rédacteur technique du magazine *Popular Electronics*, aurait proposé ce nom après avoir vu un épisode de la série *Star Trek* dans lequel l'USS Enterprise se dirigeait vers la planète Altair. Cette version de l'histoire est rapportée par le National Museum of American History.

Une autre explication suggère que les éditeurs, trouvant le nom initial « PE-8 » (pour « Popular Electronics 8-bit ») peu accrocheur, ont décidé de s'inspirer de l'étoile Altair, renforçant ainsi l'image futuriste du projet.

Pour ceux qui pourraient être surpris qu'un magazine ait renommé un micro-ordinateur qu'il n'a pas conçu, il faut savoir que MITS et *Popular Electronics* entretenaient déjà une relation étroite grâce à des collaborations régulières. Cette familiarité, combinée au fait que l'Altair était initialement pensé comme un simple kit électronique destiné à une niche de passionnés, a permis une certaine flexibilité dans la manière dont le produit a été présenté au public.

L'Altair 8800 a joué un rôle crucial dans la démocratisation de l'informatique pour plusieurs raisons. Proposé à un prix inférieur à 400 \$ en kit, il rendait l'informatique abordable pour les amateurs, ce qui constituait une révolution pour l'époque. Son apparition a suscité un vif intérêt parmi les passionnés d'informatique, comme nous venons de le voir, menant à la création du *Homebrew Computer Club* en Californie. La première réunion de ce club s'est tenue le 5 mars 1975 dans le garage de Gordon French à Menlo Park, coïncidant avec l'arrivée de l'Altair 8800 dans la région.

C'est aussi pour ce micro ordinateur que Bill Gates et Paul Allen ont développé une version du langage de programmation *BASIC* pour l'Altair, marquant ainsi les débuts de Microsoft.

## Caractéristiques techniques de l'Altair 8800

- **Processeur** : Intel 8080 cadencé à 2 MHz (8 bits).
- **Mémoire** : 256 octets de RAM, extensible jusqu'à 64 Ko.
- **Son** : Non pris en charge.
- **Bus** : Bus S-100 avec connecteurs à 100 broches, permettant l'ajout de cartes d'extension.

- **Entrées/Sorties** : Panneau frontal avec interrupteurs pour l'entrée et voyants lumineux pour la sortie ; possibilité d'ajouter des cartes d'interface série ou parallèle pour connecter des périphériques externes.
- **Programmation** : Réalisée via les interrupteurs du panneau frontal ; des cartes d'interface série permettaient la connexion à un télimprimeur ou à un terminal pour une programmation plus conviviale.
- **Interfaces** : Pas de clavier ni d'écran intégrés ; nécessitait des périphériques externes pour l'interaction utilisateur.

Bien que le son ne soit pas intégrée d'origine comme vous pouvez le voir ci-dessus. Les passionnés de l'époque ont développé des méthodes pour générer de la musique en exploitant le matériel de l'Altair. Par exemple, en connectant un petit haut-parleur à un port de sortie et en programmant des boucles pour contrôler les fréquences, il était possible de produire des tonalités musicales. Une anecdote célèbre raconte que lors d'une réunion du Homebrew Computer Club, un membre a fait jouer la mélodie « *Fool on the Hill* »<sup>27</sup> sur son Altair 8800 en utilisant cette technique. Cette démonstration a illustré le potentiel créatif de la machine et a inspiré de nombreux passionnés.

## Les micro-ordinateurs en kits en France

L'Altair 8800 est souvent considéré comme le pionnier des ordinateurs personnels aux États-Unis. Cependant, la France n'était pas en reste et proposait également des kits informatiques destinés aux passionnés d'électronique. Le magazine *Le Haut-Parleur* a notamment publié plusieurs modèles 8 bits à assembler soi-même dès 1978.

Parmi ces initiatives, le *Kit 6800*. Publié à partir du numéro 1629 du *Haut-Parleur*, ce projet a été conçu par *Christian Tavernier*, un ingénieur électronicien reconnu. Le nom *Tavernier 6800* découle directement de son créateur.

Les articles détaillaient minutieusement le processus de montage électronique, fournissant des schémas et des explications pas à pas. Au total, une cinquantaine d'articles ont été consacrés à ce projet, couvrant non seulement l'assemblage matériel, mais aussi la partie logicielle. Les lecteurs pouvaient ainsi comprendre le fonctionnement du processeur, des cartes additionnelles, et apprendre à programmer leur machine.

---

27. « *The Fool on the Hill* » est une chanson des Beatles, écrite par Paul McCartney et créditée au duo Lennon-McCartney.

Fort de ce succès, Christian Tavernier a développé le *Kit 6809*, basé sur le processeur Motorola 6809. Ce nouveau projet offrait des performances améliorées et a également été publié dans *Le Haut-Parleur*.

## Évolution de la mémoire et des périphériques

Grâce à l'évolution de la technologie des circuits intégrés, la capacité des **mémoires RAM dynamiques** augmente rapidement (de quelques kilo-octets à plusieurs méga-octets), tout en réduisant leur coût. Les **mémoires ROM** permettent de stocker des programmes de démarrage et des firmwares, rendant les machines plus autonomes et faciles à allumer. Les périphériques se multiplient :

- claviers, écrans CRT, imprimantes matricielles,
- disquettes magnétiques, puis disques durs,
- interfaces série ou parallèle pour la communication avec d'autres appareils.

La connectique et les bus deviennent normalisés : bus S-100, ISA, etc.

## Systèmes d'exploitation et environnement logiciel

Cette génération voit émerger de nombreux **systèmes d'exploitation** adaptés à ces machines moins coûteuses :

- CP/M (Control Program for Microcomputers) devient un standard de facto sur les premiers ordinateurs personnels,
- UNIX se répand dans les universités et les entreprises, grâce à sa portabilité, sa simplicité conceptuelle et sa puissance,
- les systèmes maison apparaissent sur chaque micro-ordinateur (Apple DOS, Commodore BASIC, MS-DOS...).

Les langages évoluent avec cette démocratisation :

- *BASIC* s'impose dans l'éducation,
- *C* devient incontournable dans les environnements UNIX,
- *Pascal*, *Logo*, *Lisp* se diffusent dans la formation et la recherche.

## Le développement des réseaux et de la communication

Les ordinateurs commencent à être interconnectés :

- d'abord en **réseaux locaux** (LAN) pour le partage de fichiers et d'imprimantes,
- puis dans des réseaux plus larges, notamment **ARPANET**, précurseur d'Internet.

Les modems permettent à des machines individuelles de se connecter à des serveurs distants ou à des BBS (bulletin board systems), jetant les bases de la connectivité moderne.

## Un tournant dans la fabrication et les usages

La production d'ordinateurs entre dans une phase industrielle standardisée. Les circuits imprimés, les alimentations intégrées, les boîtiers compacts rendent les machines plus fiables, plus transportables, plus abordables.

Cela ouvre la voie :

- à l'informatisation des PME, des professions libérales et des établissements scolaires,
- au développement du jeu vidéo domestique, de la bureautique personnelle, de la programmation amateur.

Les grandes entreprises comme IBM, DEC, HP et les nouveaux entrants comme Apple, Commodore, Tandy, Amstrad, Sinclair, etc., vont inonder le marché de modèles de plus en plus accessibles.

La quatrième génération marque donc l'entrée de l'informatique dans le quotidien. Elle voit l'émergence d'un marché de masse, l'autonomisation de l'ordinateur individuel, et l'adoption des standards logiciels, matériels et réseau qui façoneront les décennies suivantes.

## 5.7 La cinquième génération : IA et architecture parallèle

La cinquième génération qui se situe entre 1985 et l'année 2000 est souvent associée à une période d'aspirations technologiques élevées, marquée par la volonté d'intégrer l'intelligence artificielle (IA) dans les architectures informatiques. Plus qu'une rupture matérielle, cette génération se caractérise par des évolutions en matière de traitement parallèle, de langages logiques, de systèmes experts et de collaboration internationale.

### Le projet japonais « Fifth Generation Computer Systems » (FGCS)

En 1982, le Japon, à travers l'institut ICOT (Institute for New Generation Computer Technology), annonce un ambitieux projet national visant

à produire des ordinateurs capables de raisonnement logique et de résolution de problèmes complexes en langage naturel. Ce projet, baptisé **Fifth Generation Computer Systems** (FGCS), repose sur plusieurs principes innovants :

- l'abandon progressif du modèle de von Neumann au profit de l'architecture *massivement parallèle*,
- l'usage du langage logique **Prolog** comme pivot pour l'intelligence artificielle,
- la construction de machines spécialisées pour les bases de connaissances, le raisonnement symbolique et les dialogues en langage naturel.

L'objectif était de produire des machines « intelligentes », capables de compréhension, d'apprentissage, et de collaboration avec l'humain, dans le cadre d'une interaction homme-machine avancée.

## L'essor des systèmes experts et de l'IA symbolique

Dans les années 1980, l'IA connaît un essor industriel sous la forme de **systèmes experts**, des programmes capables de reproduire le raisonnement d'un spécialiste dans un domaine donné. Ces systèmes reposent sur :

- une *base de faits* représentant la connaissance,
- un *moteur d'inférence* capable de tirer des conclusions logiques,
- une *interface utilisateur* parfois accompagnée d'explications ou de justifications.

Des langages comme *LISP* et *Prolog* sont utilisés dans ces applications. Des entreprises comme Symbolics, Lisp Machines Inc. ou Xerox conçoivent des machines à IA dédiées, optimisées pour ces traitements.

## Le calcul parallèle et la spécialisation du matériel

Face aux limites de l'augmentation de fréquence des processeurs, on assiste à une montée en puissance du **calcul parallèle**, à travers :

- les architectures multiprocesseurs symétriques (SMP),
- les grilles de calcul, les supercalculateurs vectoriels (comme ceux de Cray),
- et les premiers **réseaux de neurones artificiels** implantés sur matériel.

L'objectif est d'augmenter les performances en divisant les tâches entre plusieurs unités de traitement travaillant en parallèle. L'architecture MIMD

(Multiple Instruction, Multiple Data) devient prédominante dans les centres de calcul.

## L'avènement des stations de travail et des serveurs spécialisés

Les années 90 voient l'émergence des **stations de travail** hautes performances, utilisées dans la recherche, l'ingénierie et la CAO/DAO :

- SUN Microsystems, Silicon Graphics (SGI), Digital Equipment Corporation (DEC) produisent des machines Unix puissantes,
- Ces stations reposent souvent sur des processeurs RISC (Reduced Instruction Set Computer), comme le SPARC, le MIPS ou l'Alpha.

En parallèle, les architectures serveurs se développent :

- serveurs Unix,
- serveurs Windows NT,
- machines spécialisées pour la base de données, le réseau, ou le calcul scientifique.

## Des limites structurelles et une transition amorcée

Malgré l'enthousiasme initial, la cinquième génération ne parvient pas à tenir toutes ses promesses. Les systèmes experts s'avèrent coûteux à développer et à maintenir, et l'IA symbolique rencontre ses limites dans la résolution de problèmes réels complexes. Cependant, cette génération aura jeté les bases de plusieurs concepts majeurs :

- la spécialisation du matériel,
- la séparation entre architecture physique et logique (machines virtuelles, Java),
- la recherche sur le raisonnement automatique et les systèmes distribués,
- les prémisses de l'IA connexionniste (réseaux neuronaux).

En définitive, la cinquième génération a davantage semé des graines qu'elle n'a récolté de fruits. Mais ces fondations techniques et théoriques s'avéreront décisives pour la transition vers l'informatique moderne, l'émergence du web, de l'IA connexionniste et du machine learning que connaîtra la génération suivante.

## 5.8 La sixième génération : multi-cœurs et cloud computing

Entrée dans le XXI<sup>e</sup> siècle, l'informatique entame une transformation profonde, marquée par l'ubiquité des réseaux, la miniaturisation des composants, et l'explosion des volumes de données. La sixième génération ne se définit plus uniquement par ses progrès matériels, mais par une convergence entre puissance de calcul, interconnexion planétaire et intelligence logicielle.

### Architecture multi-cœurs et fin de la course à la fréquence

Au début des années 2000, les processeurs atteignent leurs limites en matière de fréquence d'horloge, freinés par des contraintes thermiques et énergétiques. Pour continuer à améliorer les performances, l'industrie adopte une nouvelle approche : le **processeur multi-cœur**. Un seul circuit intégré intègre désormais plusieurs unités de traitement (cœurs), capables de fonctionner en parallèle. Les premières générations de processeurs dual-core (Intel Core Duo, AMD Athlon 64 X2) apparaissent vers 2005. Depuis, la multiplication des cœurs est devenue la norme, jusqu'à atteindre des dizaines (voire centaines) de cœurs sur les serveurs ou les processeurs graphiques (GPU).

### Explosion des données et naissance du cloud computing

Le développement massif d'Internet, des smartphones, des objets connectés et des services en ligne a entraîné une croissance exponentielle des données. Cette ère du **Big Data** nécessite des solutions nouvelles pour stocker, traiter et distribuer l'information. Le **cloud computing** (ou informatique en nuage) devient un pilier fondamental : les ressources matérielles et logicielles sont accessibles à distance, à la demande, selon un modèle d'abonnement. Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud ou IBM Cloud offrent des services allant du stockage aux plateformes d'IA. Le cloud s'appuie sur une infrastructure virtualisée, élastique et redondante, rendant possible :

- le calcul distribué à l'échelle planétaire,
- le déploiement d'applications dans des conteneurs,
- la mise en place d'architectures résilientes et tolérantes aux pannes.

## Intelligence artificielle et apprentissage automatique

L'essor du **machine learning**, et en particulier du **deep learning**, redéfinit les usages informatiques. L'IA n'est plus cantonnée aux laboratoires de recherche : elle est intégrée dans les moteurs de recherche, les assistants vocaux, les diagnostics médicaux, les voitures autonomes ou encore les outils de création artistique. Le matériel suit cette évolution :

- les GPU (initialement dédiés au rendu 3D) sont réutilisés pour l'apprentissage profond grâce à leur parallélisme massif,
- de nouvelles puces apparaissent : **TPU** chez Google, **NPU**, **AI Engine**, etc.

Ces processeurs spécialisés optimisent les réseaux de neurones convolutifs, récurrents ou transformeurs (comme ceux utilisés dans la traduction automatique ou la génération de texte).

## Ordinateurs distribués et edge computing

L'informatique s'est également décentralisée : on parle désormais de **calcul distribué**. Les tâches sont réparties entre plusieurs machines, géographiquement dispersées, qui coopèrent pour une même application. Avec la multiplication des objets connectés et des capteurs, se développe le **edge computing**, qui consiste à traiter certaines données au plus près de la source (sur les appareils eux-mêmes ou des micro-centres de données locaux) pour réduire la latence et la charge réseau.

## Évolution logicielle : open source, conteneurisation, IA embarquée

Cette génération voit aussi l'explosion des logiciels open source, du DevOps, de l'automatisation des déploiements (CI/CD), de la conteneurisation (avec *Docker*) et de l'orchestration à grande échelle (*Kubernetes*). L'architecture des applications évolue vers des modèles **microservices**. L'IA est de plus en plus *embarquée* dans les objets du quotidien : téléphones, caméras de surveillance, voitures, thermostats intelligents. Cette intégration profonde de l'intelligence dans les machines annonce une nouvelle ère d'informatique ubiquitaire et proactive.

## Perspectives : informatique quantique, sobriété numérique, IA générative

La sixième génération est encore en cours d'évolution, et les frontières commencent à s'estomper. Parmi les grandes tendances émergentes :

- l'**informatique quantique**, encore expérimentale, pourrait révolutionner le traitement de certains problèmes (cryptographie, optimisation, simulation moléculaire),
- l'**IA générative**, avec des modèles de plus en plus puissants capables de produire du texte, de la musique, du code ou des images,
- la **sobriété numérique**, face à l'impact environnemental croissant des technologies.

Cette génération n'a pas uniquement augmenté la puissance de calcul : elle a diffusé l'informatique partout, dans tous les secteurs et dans presque tous les objets. L'ordinateur, désormais souvent invisible, est devenu une infrastructure du quotidien, pilotée par des données massives, des algorithmes intelligents et des architectures distribuées.

## 5.9 L'Apple II prêt à l'usage

Au milieu des années 1970, un certain *Steve Wozniak*, ingénieur autodidacte de talent, fréquentait régulièrement le *Homebrew Computer Club*. En 1976, Wozniak y présenta un prototype d'ordinateur qu'il avait conçu. Ce prototype attira l'attention de Steve Jobs, qui en perçut immédiatement le potentiel commercial.

Avec l'aide de Jobs, Wozniak perfectionna son concept initial pour créer l'**Apple I**, un ordinateur artisanal assemblé à la main, doté d'une coque en bois et destiné aux passionnés. Pour financer leur projet, Jobs vendit son van Volkswagen, tandis que Wozniak céda sa calculatrice HP-65, alors un outil précieux. L'Apple I, est le premier ordinateur commercialisé par Apple Computer Company, fondée par Wozniak, Steve Jobs et Ronald Wayne le 1er avril 1976.

Contrairement à d'autres ordinateurs de l'époque (comme l'Altair par exemple), l'Apple I était vendu entièrement assemblé, mais sans boîtier, clavier ni moniteur. Il était équipé d'un microprocesseur MOS Technology 6502 cadencé à 1 MHz et disposait de 4 Ko de mémoire vive, extensible à 8 Ko.

L'Apple I a été une première tentative prometteuse pour offrir un ordinateur personnel. Bien qu'il ait marqué une étape importante en rendant l'informatique accessible à un public plus large, l'Apple I était encore rudimentaire dans sa conception. Il était vendu sans clavier, ni boîtier, ni écran, laissant aux utilisateurs le soin de compléter le matériel pour le rendre fonctionnel. Ce caractère artisanal limitait son attrait en dehors du cercle des passionnés d'électronique.

Cependant, cette première expérience a permis à Wozniak et Jobs de

comprendre les attentes du marché. Ils ont réalisé qu'un ordinateur prêt à l'emploi, doté de fonctionnalités intégrées et d'un design plus abouti, aurait un potentiel bien plus grand. Forts de ces enseignements, ils ont conçu l'Apple II, lancé en 1977.

L'Apple II a représenté une transformation complète. Contrairement à son prédecesseur, il était livré avec un clavier intégré, un boîtier élégant en plastique, et pouvait se connecter à un écran ou un téléviseur pour l'affichage. En outre, il intégrait des graphiques en couleur, une caractéristique novatrice pour l'époque, ainsi qu'une architecture évolutive permettant d'ajouter des périphériques ou des extensions.

- **Processeur** : MOS Technology 6502 cadencé à 1 MHz (8 bits).
- **Mémoire** : 4 Ko de mémoire vive de base, extensible à 48 Ko (jusqu'à 64 Ko avec des cartes supplémentaires).
- **Graphiques** : Support des graphiques en couleur avec une résolution maximale de 280 x 192 pixels.
- **Stockage** : Lecteur de disquette optionnel (Disk II), permettant un stockage rapide et flexible.
- **Son** : 1 canal sonore intégré, permettant de générer des sons simples via un haut-parleur interne.
- **Bus** : 8 slots d'extension pour connecter des périphériques ou des cartes supplémentaires.
- **Entrées/Sorties** : Clavier intégré pour les entrées, sortie vidéo permettant une connexion à un écran ou un téléviseur.
- **Programmation** : Livré avec un interpréteur BASIC intégré, facilitant la programmation directe par l'utilisateur.
- **Interfaces** : Clavier intégré, boîtier en plastique prêt à l'emploi, et compatibilité avec des périphériques externes comme les imprimantes.

L'*Apple II* a servi également de plateforme pour des logiciels révolutionnaires, notamment *VisiCalc*, le premier tableur électronique, qui a transformé la manière dont les entreprises géraient leurs données et a contribué à l'adoption des ordinateurs personnels dans le milieu professionnel. Mais ce qu'à apporter Apple, c'est la possibilité d'utiliser des micro-ordinateur sans avoir besoin d'un fer à souder! À partir de maintenant la micro-informatique, c'est plus réservé aux électroniciens et cow-boy du fer à souder, mais à tous les curieux qui sentent qu'on peut faire quelque chose de ses machines et qui sentaient peut-être que cela allait changer le monde.

## 5.10 La micro-informatique

La micro-informatique a émergé comme nous venons de le voir au début des années 1970 avec l'apparition des premiers micro-ordinateurs équipés de microprocesseurs. Cette évolution a rendu l'informatique plus accessible, permettant son intégration dans les foyers et les petites entreprises.

Le terme « micro-ordinateur » a été introduit par les développeurs du *Micral* (Voir plus haut 4.3) pour désigner le premier ordinateur utilisant un microprocesseur comme unité centrale. Si l'on s'amusait à comparer le Micral N de 1973 avec par exemple IAS Machine (1952) ou ENIAC (1945) la taille est environ 2 000 fois plus petit. En effet on passe d'un salle de 60 m<sup>3</sup> nécessaire pour l'ENIAC à 24 litres pour le Micral. Pour le poids c'est idem on passe de 20 000 kg à 14 kg. La consommation est également 600 fois plus économique passant de 30 000 W à quelques 50 W pour le Micral et avec un rapidité de calcul environ 100 fois plus élevé.

Je vous propose de balayer les quelques micro-ordinateurs qui ont marqué l'histoire de la micro-informatique, période finalement assez courte mais follement riche.

### TRS-80 (1977)

Le **TRS-80** est l'un des premiers micro-ordinateurs à rencontrer un succès commercial aux États-Unis. Conçu par **Tandy Corporation** et vendu dans les magasins **Radio Shack**, il a démocratisé l'accès à l'informatique pour le grand public. Le TRS-80 a été l'un des premiers ordinateurs prêts à l'emploi, vendu en magasin à un prix abordable (environ 600 dollars). Il ne nécessitait aucune soudure ni compétence avancée en électronique.

#### Description

- **Processeur** : Zilog Z80 à 1,77 MHz.
- **Mémoire** : 4 Ko de mémoire vive (extensible à 48 Ko).
- Connectable à un téléviseur comme écran.
- Livré avec le langage BASIC intégré en ROM, facilitant la programmation.
- **Marque** : Tandy Corporation / Radio Shack
- **Fondateur** : Charles Tandy
- **Anecdote** : Le TRS-80 était surnommé « Trash-80 » par ses détracteurs en raison de son clavier peu fiable et de ses bogues logiciels.

## Commodore PET (1977)

Le **Commodore PET** (Personal Electronic Transactor) est le premier micro-ordinateur tout-en-un, conçu pour le grand public. Il a joué un rôle clé dans la démocratisation de l'informatique. Le PET était destiné aux entreprises et aux écoles, offrant une solution informatique clé en main avec un clavier intégré, un écran et un lecteur de cassettes.

### Description

- **Processeur :** MOS Technology 6502 à 1 MHz.
- Design tout-en-un avec un écran monochrome de 9 pouces.
- Clavier mécanique robuste et pavé numérique intégré.
- BASIC intégré permettant une programmation immédiate.
- **Marque :** Commodore International
- **Fondateur :** Jack Tramiel
- **Anecdote :** Jack Tramiel, un survivant de l'Holocauste, a fondé Commodore en tant que fabricant de machines à écrire avant de se lancer dans l'informatique.

## TI-99/4A (1979)

Le **TI-99/4A** est un micro-ordinateur développé par Texas Instruments, sorti en 1979 et considéré comme le premier ordinateur personnel 16 bits du marché. Il était vendu environ 4 750 F. Il utilisait le processeur **TMS9900**, qui était avancé pour l'époque mais souffrait d'une architecture bridée, car son bus de données était limité à 8 bits pour réduire les coûts.

Présenté au Consumer Electronics Show en 1981, le TI-99/4A était une version améliorée du TI-99/4, introduisant un clavier plus ergonomique, un mode vidéo étendu et des cartouches de ROM plus volumineuses. Son affichage couleur et sa facilité de connexion à un téléviseur via une prise Péritel<sup>28</sup> le rendaient attractif pour le grand public. Il s'inspirait ainsi des consoles de jeux tout en proposant un environnement plus éducatif et productif.

---

28. La prise Péritel, également appelée SCART, est un connecteur audio-vidéo standardisé en France. Son usage a été rendu obligatoire par la loi française dès 1981 sur tous les téléviseurs vendus dans le pays. Cette obligation visait à uniformiser les connexions vidéo, simplifier le branchement des périphériques comme les consoles de jeux et les ordinateurs, et améliorer la qualité de l'affichage en évitant l'utilisation des câbles RF nécessitant un réglage manuel des chaînes. Grâce à cette norme, des machines comme le TI-99/4A ont pu être directement connectées aux téléviseurs domestiques sans nécessiter d'adaptateur externe, facilitant leur adoption par le grand public.

Malgré des caractéristiques intéressantes, le TI-99/4A souffrait de plusieurs limitations, notamment une mémoire VRAM de 24 Ko, dont 16 Ko étaient réservés à l'affichage vidéo, laissant peu de place aux applications. Le langage GPL (Graphics Programming Language) utilisé ralentissait l'exécution des programmes, rendant la machine moins performante que ses concurrentes.

En 1983, sous la pression de la concurrence d'ordinateurs plus abordables comme le Commodore VIC-20, Texas Instruments décide de réduire progressivement le prix du TI-99/4A, qui passe de 525 \$ à 99 \$ pour tenter de rivaliser sur le marché. Malgré ces efforts, l'entreprise subit d'énormes pertes financières, ce qui mène à l'arrêt de la production en octobre 1983 et à la liquidation des stocks.

Bien que commercialement le TI-99/4A ait été un échec, il a marqué l'histoire comme l'un des premiers ordinateurs familiaux proposant des fonctionnalités avancées. Son héritage perdure grâce à des passionnés qui développent encore aujourd'hui des émulateurs et des logiciels pour cette machine emblématique.

## Description

- **Processeur :** Texas Instruments TMS9900 à 3,3 MHz (16 bits).
- **Mémoire vidéo (VRAM) :** 24 Ko (16 Ko réservés à l'affichage).
- **Vidéo :** TMS 9918A
- **Affichage :** Résolution de  $256 \times 192$  pixels, 15 couleurs plus une couleurs transparente.
- **Son :** TMS 9919 (3 voies sur 5 octaves).
- **Stockage :** Cartouches ROM, possibilité de brancher un lecteur de cassette.
- **Clavier :** Clavier complet intégré mécanique.
- **Périphériques :** Compatible avec des manettes et des cartouches de jeu.
- **Marque :** Texas Instruments.
- **Remarque :** En 1983, Texas Instruments annonce 223 millions de dollars de pertes, entraînant l'arrêt de la production du TI-99/4A.

## Atari 400 / 800 (1979)

Les **Atari 400 et 800** sont les premiers micro-ordinateurs conçus avec un fort accent sur le multimédia et le jeu vidéo. Atari a intégré des capacités graphiques et sonores avancées, posant les bases des futurs ordinateurs de divertissement.

## Description

- **Processeur :** MOS 6502 à 1,79 MHz.
- **Mémoire :** 4 Ko par défaut, extensible à 16 Ko.
- **Affichage :** haute résolution pour l'époque. 14 modes (graphiques + texte), résolution jusqu'à  $320 \times 192$  (mode monochrome).
- Synthèse sonore avancée.
- Design futuriste avec clavier membrane (Atari 400).
- **Marque :** Atari
- **Fondateur :** Nolan Bushnell
- **Anecdote :** L'Atari 400 était prévu comme une console améliorée, tandis que l'Atari 800 était une machine plus puissante et modulaire.

## ZX80 (1980)

Lancé en 1980, le ZX80 est l'un des premiers ordinateurs personnels vendus à un prix abordable (moins de 1000 francs). Il se distingue par son design minimaliste et sa compacité, permettant à un large public de découvrir l'informatique sans investir des sommes importantes.

La société produira plusieurs micro-ordinateurs Sinclair marqué par le sceau de leur géniteur : Sir Clive Sinclair. *Clive Sinclair*, né le 30 juillet 1940 à Richmond, est un ingénieur et inventeur britannique qui a marqué l'histoire de l'informatique en démocratisant l'accès aux micro-ordinateurs. Passionné par la miniaturisation des composants électroniques, il fonde en 1961 *Sinclair Radionics Ltd*, une entreprise spécialisée dans la fabrication de radios et d'autres appareils électroniques grand public.

Cependant, c'est dans le domaine de l'informatique que Sinclair connaîtra un succès retentissant. À la fin des années 1970, il se fixe comme objectif de créer un ordinateur compact et abordable, accessible au plus grand nombre. En 1980, il réussit ce pari avec le lancement du ZX80, qui deviendra l'un des premiers micro-ordinateurs populaires.

Le ZX80 est équipé d'un processeur Zilog Z80, fonctionnant à 3,25 MHz, et dispose de 1 Ko de RAM, extensible à 16 Ko. L'affichage se fait sur un téléviseur en noir et blanc, avec une résolution limitée, et le clavier est une membrane tactile, ce qui permet de réduire les coûts de fabrication.

Ce micro-ordinateur était vendu en kit ou préassemblé, offrant une première expérience informatique aux passionnés de programmation. Il utilisait un interpréteur BASIC intégré, permettant aux utilisateurs de coder directement leurs propres programmes.

Le ZX80 connaît un succès immédiat, notamment au Royaume-Uni, où il contribue à populariser l'informatique domestique. Malgré son succès, le ZX80 souffrait de plusieurs limitations :

- Son **clavier à membrane** était inconfortable à l'usage.
- Sa mémoire **très limitée** obligeait à des optimisations constantes.
- Son affichage était **monochrome**, sans gestion des sprites ni du son.

Aujourd'hui, le ZX80 est une machine de collection et son influence perdure dans le monde du **retro-computing**, avec des émulateurs et des passionnés qui continuent à programmer sur ces machines emblématiques.

## Description

- **Processeur** : Zilog Z80 à 3,25 MHz.
- **Mémoire vive** : 1 Ko, extensible à 16 Ko.
- **Affichage** : Monochrome, 32 colonnes par 24 lignes de texte.
- **Clavier** : Membrane plate de 40 touches.
- **Marque** : Sinclair Research.
- **Fondateur** : Sir Clive Sinclair.
- **Remarque** : Le ZX80 était vendu en kit ou assemblé, permettant aux passionnés de le construire eux-mêmes pour un prix réduit.

## BBC Micro (1981)

Le **BBC Micro** est un micro-ordinateur développé par **Acorn Computers** au Royaume-Uni, dans le cadre du projet BBC Computer Literacy Project. Il a joué un rôle essentiel dans l'éducation informatique britannique.

## Description

- **Processeur** : MOS Technology 6502A à 2 MHz.
- **Mémoire vive** : 16 Ko (Modèle A) ou 32 Ko (Modèle B).
- **Affichage** : Modes texte et graphiques avec support de 8 couleurs.
- **Clavier** : Mécanique avec 74 touches.
- **Marque** : Acorn Computers.
- **Fondateurs** : Hermann Hauser et Chris Curry.
- **Remarque** : Le BBC Micro était réputé pour sa robustesse et sa qualité de construction, ce qui le rendait populaire dans les écoles.

## ZX81 (1981)

Le Sinclair ZX81 est un micro-ordinateur domestique développé par Sinclair Research et lancé en mars 1981. Conçu comme le successeur du ZX80, il visait à rendre l'informatique accessible au grand public grâce à son prix abordable et sa simplicité d'utilisation. Le ZX81 a rencontré un

succès notable, avec plus de 1,5 million d'unités vendues. Personnellement, c'est effectivement l'un des premiers micro-ordinateurs que j'ai vu sur le catalogue grand public et pas du tout spécialisé *La Redoute* quand j'avais 11 ou 12 ans ! Le ZX81 était conçu pour être une machine compacte et économique. Il intégrait un processeur Zilog Z80 cadencé à 3,25 MHz, avec 1 Ko de RAM, extensible jusqu'à 64 Ko via des modules externes. Son affichage monochrome se faisait sur un téléviseur, avec une résolution graphique de  $64 \times 48$  pixels et un affichage texte de  $24 \times 32$  caractères.

L'un de ses éléments les plus caractéristiques était son clavier à membrane, bien que peu ergonomique. De plus, comme pour son prédecesseur, il utilisait un enregistreur à cassettes pour stocker les programmes.

Une des principales innovations du ZX81 résidait dans sa gestion mémoire optimisée. Contrairement aux autres ordinateurs de l'époque, il pouvait fonctionner avec un mode d'affichage sans rafraîchissement (fast mode) permettant d'économiser des ressources en désactivant l'écran pendant l'exécution des calculs.

Rapidement, un écosystème de logiciels, périphériques et accessoires s'est développé autour de la machine. Des entreprises spécialisées dans l'édition de logiciels ont vu le jour, et de nombreux passionnés ont conçu des extensions mémoire, des claviers mécaniques externes et même des solutions pour améliorer l'affichage.

## Description

- **Processeur :** Zilog Z80 à 2 MHz.
- **Mémoire vive :** 1 Ko, extensible à 16 Ko.
- **Mémoire ROM :** 8 Ko BASIC
- **Son :** Aucun
- **Affichage :** Noir et blanc, résolution de  $64 \times 44$  pixels.
- **Stockage :** Enregistrement des programmes sur cassette audio.
- **Clavier :** Clavier à membrane.
- **Marque :** Sinclair Research.
- **Fondateur :** Clive Sinclair.
- **Remarque :** Le ZX81 a été vendu à plus de 2 millions d'exemplaires et a marqué l'histoire de l'informatique domestique.

## Commodore VIC-20 (1981)

Le **Commodore VIC-20** est un micro-ordinateur 8 bits développé par **Commodore Business Machines**, lancé au Japon en 1980 sous le nom de VIC-1001, puis mondialement en 1981. Il est reconnu comme le premier ordinateur à avoir atteint le million d'unités vendues, avec un total

de 2,5 millions d'exemplaires écoulés. Il était vendu environ 300 \$. Pour beaucoup, le VIC-20 représente une introduction accessible à l'informatique domestique. Son prix abordable et sa connectivité à un téléviseur standard en ont fait un choix populaire pour les familles et les amateurs de jeux vidéo.

## Description

- **Processeur** : MOS Technology 6502 à 1,02 MHz (NTSC) ou 1,10 MHz (PAL).
- **Mémoire vive** : 5 Ko de RAM statique, avec 3,5 Ko disponibles pour les programmes en BASIC, extensible jusqu'à 32 Ko.
- **Affichage** : Puce graphique VIC-I offrant une résolution de 176 × 184 pixels avec une palette de 16 couleurs.
- **Son** : Générateur sonore intégré avec 3 canaux de forme d'onde carrée et 1 canal de bruit blanc.
- **Marque** : Commodore Business Machines.
- **Fondateur** : Jack Tramiel.
- **Anecdote** : Le VIC-20 a été commercialisé avec le slogan » The Friendly Computer« et promu par l'acteur William Shatner, célèbre pour son rôle dans Star Trek.

## Commodore 64 (1982)

Le **Commodore 64** est un micro-ordinateur emblématique de **Commodore International**, célèbre pour ses capacités graphiques et sonores avancées pour l'époque. C'est le premier micro-ordinateur sur lequel j'ai commencé à jouer ! N'ayant pas encore les moyens de m'en procurer un, j'allais quelques dimanche matin chez mon cousin qui avait la gentillesse de me le prêter pour la matinée. Étant très impatient il me semble que je devais arriver tôt ce qui expliquait sa tête matinale. Un autre souvenir est le temps de chargement du jeu Bruce Lee qui prenait plus de 25 minutes (de mémoire !) à charger quand tout allait bien ;) Si une erreur apparaissait il fallait rembobiner la cassette et recommencer en tapant la commande LOAD !

## Description

- **Processeur** : MOS Technology 6510 à 1,023 MHz (NTSC) ou 0,985 MHz (PAL).
- **Mémoire vive** : 64 Ko – d'où son nom !

- **Affichage** : Graphismes haute résolution avec palette de 16 couleurs.
- **Son** : Puce SID offrant 3 canaux sonores.
- **Marque** : Commodore International.
- **Fondateur** : Jack Tramiel.
- **Anecdote** : Avec environ 17 millions d'unités vendues, le Commodore 64 est souvent considéré comme l'ordinateur le plus vendu de tous les temps.



FIGURE 5.10 – Le Commodore 64 de 1982  
Licence : Domaine public.

Le Commodore 64 a joué un rôle crucial dans la démocratisation de l'informatique domestique. Son prix abordable, combiné à ses performances, a rendu l'informatique accessible à un large public. Il était clairement orienté plus jeux vidéos. Malgré l'arrêt de sa production en 1994, le Commodore 64 continue d'influencer le monde de l'informatique et du jeu vidéo. Des émulateurs, des remakes de jeux et des festivals dédiés témoignent de son impact durable. En 2017, une version miniaturisée, le C64 Mini, a été commercialisée, permettant aux nouvelles générations de découvrir cette machine légendaire.

## ZX Spectrum (1982)

Le ZX Spectrum, lancé en 1982 par Sinclair Research, succède aux ZX80 et ZX81, en introduisant plusieurs améliorations majeures, notamment un

affichage en couleur, un son amélioré, et un clavier gomme plus ergonomique. Le ZX Spectrum se distingue par son design compact et coloré, conçu par Rick Dickinson. Son clavier, bien que toujours en gomme souple, est une nette amélioration par rapport aux claviers à membrane des modèles précédents. Il est disponible en deux configurations principales : ZX Spectrum 16K avec 16 Ko de RAM ou ZX Spectrum 48K avec 48 Ko de RAM. L'ordinateur offre un affichage couleur  $256 \times 192$  pixels avec 8 couleurs, ce qui représente une avancée considérable par rapport au ZX81, limité au monochrome. Son processeur Zilog Z80A cadencé à 3,5 MHz lui permet d'exécuter des jeux et des applications plus complexes.

## Description

- **Processeur :** Zilog Z80A à 3,5 MHz.
- **Mémoire vive :** 16 Ko ou 48 Ko.
- **Affichage :** Graphismes en couleur avec une résolution de 256x192 pixels.
- **Clavier :** Membrane en caoutchouc avec 40 touches.
- **Marque :** Sinclair Research.
- **Fondateur :** Sir Clive Sinclair.
- **Remarque :** Le ZX Spectrum a inspiré une communauté de développeurs de jeux indépendants, contribuant à la croissance de l'industrie britannique du jeu vidéo.

## Oric 1 (1983)

L'**Oric-1** est un micro-ordinateur développé par **Tangerine Computer Systems** et commercialisé par **Oric International**, offrant une alternative économique au ZX Spectrum, particulièrement populaire en France.

## Description

- Processeur : MOS Technology 6502A à 1 MHz.
- Mémoire vive : 16 Ko ou 48 Ko.
- Affichage : Modes texte et graphiques avec 8 couleurs.
- Clavier : Plastique avec 57 touches.
- Marque : Oric International.
- Fondateur : Edens et Twyman.
- Anecdote : L'Oric-1 a connu un grand succès en France, en partie grâce à son prix compétitif et à sa distribution efficace.

## Apple Lisa (1983)

L'**Apple Lisa** est un micro-ordinateur développé par **Apple Computer**, lancé le 19 janvier 1983. Il est reconnu comme l'un des premiers ordinateurs personnels à offrir une interface graphique utilisateur (GUI) commerciale, intégrant une souris et des icônes pour faciliter l'interaction homme-machine. Pour beaucoup, le Lisa représente une étape majeure dans l'évolution de l'informatique personnelle. Bien que son prix élevé (9 995 \$) et sa concurrence interne avec *le Macintosh* aient limité sa diffusion, il a introduit des concepts novateurs qui ont influencé les générations suivantes d'ordinateurs. Son interface graphique et son approche orientée utilisateur ont ouvert la voie à des environnements plus intuitifs, rendant l'informatique accessible à un public plus large.

### Description

- **Processeur** : Motorola 68000 à 5 MHz.
- **Mémoire vive** : 1 Mo, extensible à 2 Mo.
- **Mémoire ROM** : 16 Ko
- **Son** : Bib-bip
- **Affichage** : Écran monochrome de 12 pouces, résolution de 720 × 364 pixels.
- **Stockage** : Deux lecteurs de disquettes 5,25 pouces de 871 Ko chacun, remplacés plus tard par des lecteurs 3,5 pouces ; disque dur externe de 5 Mo en option.
- **Clavier** : Clavier complet avec pavé numérique.
- **Périphérique de pointage** : Souris à un bouton.
- **Marque** : Apple Computer.
- **Fondateur** : Steve Jobs.
- **Anecdote** : En 1989, environ 2 700 unités invendues du Lisa ont été enterrées dans une décharge près de Logan, Utah, permettant à Apple de bénéficier d'une déduction fiscale sur les stocks invendus<sup>29</sup>.

---

29. En 1989, environ 2 700 unités invendues du Lisa ont été enterrées dans une décharge près de Logan, Utah, permettant à Apple de bénéficier d'une déduction fiscale sur les stocks invendus.

## Thomson MO5 / TO7 (1984)



FIGURE 5.11 – Le Thomson MO5, lancé en 1984

Auteur : Sébastien Inion. Licence : CC BY-SA 3.0.

Les **Thomson MO5** et **TO7** sont des micro-ordinateurs français produits par **Thomson**, largement utilisés dans les écoles françaises dans le cadre du plan » Informatique pour Tous«<sup>30</sup>. Le choix des ordinateurs MO5 et TO7/70 de Thomson dans le cadre du Plan Informatique pour Tous (IPT) de 1985 s'explique principalement par des considérations politiques et industrielles. À cette époque, le gouvernement français souhaitait soutenir l'industrie nationale, et Thomson, une entreprise publique en difficulté, a été retenue pour fournir le matériel informatique nécessaire au plan. Bien que des alternatives étrangères, telles que les ordinateurs Macintosh d'Apple, aient été envisagées, le choix s'est finalement porté sur Thomson pour favoriser la production nationale et préserver les emplois en France. Cette décision visait également à développer une filière informatique française autonome. Ainsi, les MO5 et TO7/70 ont été massivement déployés dans les établissements scolaires français dans le cadre de l'IPT, avec l'objectif d'initier les élèves à l'informatique tout en soutenant l'industrie nationale.

Pour beaucoup d'entre nous, les micro-ordinateurs comme le TO7/70 et le MO5 ont été les premiers compagnons de nos aventures informatiques. Les séances en classe, bien que parfois trop courtes, ont éveillé notre curio-

30. Le Plan Informatique pour Tous (IPT), lancé en 1985 par le gouvernement français sous la direction du Premier ministre Laurent Fabius, visait à initier les 11 millions d'élèves du pays à l'outil informatique et à soutenir l'industrie nationale.

sité. Les médiathèques, équipées de ces machines, offraient une opportunité précieuse de prolonger cette découverte. Taper les listings de programmes issus de magazines tels qu'*Hebdogiciel*<sup>31</sup> était une expérience formatrice, mêlant patience et excitation. Ces moments ont sans doute contribué à forger notre passion pour l'informatique.

## Description

- **Processeur :** Motorola 6809E à 1 MHz.
- **Mémoire vive :** MO5 : 48 Ko ; TO7/70 : 24 Ko, extensible à 48 Ko.
- **Affichage :** 8 couleurs avec une résolution de  $320 \times 200$  pixels.
- **Clavier :** MO5 : touches en caoutchouc (type Minitel) ; TO7/70 : touches en plastique rigide puis mécanique.
- **Périphérique de pointage :** Crayon optique intégré.
- **Marque :** Thomson.
- **Fondateur :** Société Thomson.
- **Anecdote :** Environ 100 000 unités des MO5 et TO7/70 ont été installées dans les écoles françaises dans le cadre du plan gouvernemental.

## Apple Macintosh (1984)

L'**Apple Macintosh**, lancé le 24 janvier 1984, est un micro-ordinateur développé par **Apple Computer**. L'Apple Lisa (1983) était déjà doté d'une interface graphique utilisateur (GUI) et d'une souris. Cependant c'est le Macintosh, introduit en 1984, qui a véritablement popularisé ces technologies auprès du grand public, grâce à son interface graphique intuitive et son coût plus abordable (environ 2 500 \$). Ainsi, bien que le Lisa ait été pionnier dans l'adoption de la GUI, c'est le Macintosh qui a rendu l'informatique plus accessible et a rencontré un succès commercial notable. Pour beaucoup, le Macintosh représente une révolution dans l'informatique personnelle. Son interface graphique intuitive et son design tout-en-un ont établi de nouvelles normes en matière d'expérience utilisateur. Bien que ses

---

31. Hebdogiciel était un magazine hebdomadaire français, publié de 1983 à janvier 1987, qui a marqué les débuts de la micro-informatique familiale. Son format rappelait celui d'un journal, et il se distinguait par un ton satirique et irrévérencieux. Le contenu comprenait des articles sur l'actualité informatique, des tests de logiciels, ainsi que des listings de programmes que les lecteurs pouvaient saisir eux-mêmes. Pour garantir son indépendance, le magazine refusait la publicité et dépendait principalement de ses ventes. Parmi ses rubriques notables figuraient « C'est nouveau, ça vient de sortir » pour les nouveautés, « Bidouille-grenouille » dédiée aux astuces, et « Mini-mire » consacrée au Minitel. Hebdogiciel est resté célèbre pour son approche critique et humoristique du monde informatique de l'époque.

ventes initiales aient été modestes, le Macintosh a jeté les bases des futurs développements d'Apple et a influencé l'industrie informatique dans son ensemble.

## Description

- **Processeur :** Motorola 68000 à 8 MHz.
- **Mémoire vive :** 128 Ko.
- **Mémoire ROM :** 64 Ko.
- **Son :** 4 voies 6 octaves
- **Affichage :** Écran monochrome de 9 pouces, résolution de 512 × 342 pixels.
- **Stockage :** Lecteur de disquettes 3,5 pouces de 400 Ko.
- **Clavier :** Clavier complet sans pavé numérique type machine à écrire.
- **Périphérique de pointage :** Souris à un bouton.
- **Marque :** Apple Computer.
- **Fondateur :** Steve Jobs.
- **Anecdote :** Le Macintosh a été introduit au public lors d'une publicité emblématique intitulée « 1984 », diffusée pendant le Super Bowl XVIII, qui est devenue un moment marquant de l'histoire de la publicité<sup>32</sup>.

## Amstrad CPC 464 (1984)

L'Amstrad CPC 464, lancé en 1984, est un micro-ordinateur britannique emblématique conçu par la société Amstrad, fondée par *Alan Michael Sugar* en 1968. Le CPC 464 se distinguait par son design tout-en-un, intégrant un clavier et un lecteur de cassettes, ce qui le rendait à la fois compact et pratique pour les utilisateurs domestiques. Cette approche innovante a contribué à sa popularité en Europe, notamment en France et au Royaume-Uni. Le choix du nombre » 464 « dans le nom du modèle était une stratégie pour surpasser les ordinateurs concurrents de l'époque, tels que les Commodore 264 et 364, en suggérant une supériorité numérique. Cette astuce marketing reflète l'esprit compétitif d'Alan Sugar, souvent surnommé » Le Crocodile« en raison de son approche agressive en affaires. Cette image a été adoptée par la communauté Amstrad, le crocodile devenant une mascotte associée à la marque.

---

32. La publicité « 1984 » est souvent citée comme l'une des meilleures publicités de tous les temps et a contribué à établir l'image innovante d'Apple.



FIGURE 5.12 – Amstrad CPC 464 (1984)

Auteur : Rama et Musée Bolo. Licence : CC BY-SA 2.0 FR.

Alan Sugar, né en 1947 à Hackney, Londres, a quitté l'école à 16 ans pour vendre des équipements électroniques depuis un van. En 1968, il a fondé Amstrad, acronyme de » Alan Michael Sugar Trading« . Sous sa direction, Amstrad est devenue une entreprise majeure dans le domaine de l'électronique grand public, notamment grâce au succès du CPC 464. Le CPC 464 a également inspiré des hommages de la part de la communauté rétro-gaming. Par exemple, en 2024, pour célébrer le 40e anniversaire de l'Amstrad CPC 464 sur le marché français, le jeu » Croco Folie" a été développé en hommage à cette machine emblématique.

## Description

- **Processeur :** Zilog Z80A à 4 MHz.
- **Mémoire vive :** 64 Ko.
- **Affichage :** Modes graphiques avec palette de 27 couleurs.
- **Stockage :** Lecteur de cassettes intégré.
- **Marque :** Amstrad.
- **Fondateur :** Alan Sugar.
- Le CPC 464 était vendu avec un moniteur dédié, soit en couleur, soit en monochrome vert, offrant une solution complète aux utilisateurs.

## 5.11 Les compatibles PC

**L'IBM Personal Computer 5150**, lancé en 1981, introduit une architecture ouverte qui marque la fin de l'ère des micro-ordinateurs aux conceptions disparates. En choisissant des composants standard (processeur Intel 8088, architecture x86) et en publiant une documentation complète, IBM ouvre la voie à une nouvelle génération de machines dites « compatibles PC ».

La société **Compaq** réalise en 1983 le premier clone réussi grâce à un BIOS développé par rétro-ingénierie. D'autres constructeurs suivent : **Dell**, **Tandy**, **Olivetti**, contribuant à l'émergence d'un standard matériel de facto. Le marché se structure autour de l'association entre le processeur Intel et le système MS-DOS de Microsoft, formant la plateforme « Wintel ».

Face à cette concurrence, IBM tente de reprendre le contrôle avec la gamme *PS/2* en 1987, dotée d'un bus propriétaire MCA. Mais les fabricants réagissent en unifiant leurs efforts autour du bus *EISA*, préférant la compatibilité. IBM perd peu à peu son monopole, et le terme « compatible PC » disparaît au profit du terme « PC », générique. Ainsi, la standardisation met fin à l'époque pionnière des Apple II, TRS-80 ou Commodore, pour donner naissance à un écosystème unifié et pérenne.

## 5.12 Les smartphones

Avant les smartphones, les **assistants personnels numériques** (PDA) comme les Palm Pilot ou les Psion offraient carnet d'adresses, agenda et fonctions bureautiques mobiles. En 1994, IBM introduit le *Simon Personal Communicator*, combinant téléphone mobile et PDA : c'est le premier smartphone, bien qu'en avance sur son temps.

Dans les années 2000, des appareils comme le **BlackBerry** ou les **Nokia Communicator** intègrent email, navigation web et claviers complets. Mais le tournant majeur intervient en 2007 avec le lancement du **iPhone** par Apple : écran tactile multipoint, interface graphique moderne, et surtout App Store en 2008, qui transforme le smartphone en plateforme applicative universelle.

Rapidement, Android est déployé par de nombreux fabricants. Le smartphone devient un **ordinateur de poche connecté**, intégrant GPS, appareil photo, puce de paiement, et accès constant à Internet. À partir de 2010, les ventes de smartphones surpassent celles des PC, symbolisant l'avènement d'une informatique mobile, ubiquitaire et personnalisée.

## 5.13 Le cloud computing

L'idée de mutualiser la puissance de calcul remonte aux années 1960 avec le **time-sharing**, où plusieurs utilisateurs accèdent à un même ordinateur central. En 1961, John McCarthy imagine l'informatique comme un service public, à l'image de l'électricité ou du téléphone.

Dans les années 1990, les hébergeurs web proposent de partager leurs serveurs via Internet. Le terme « cloud computing » se démocratise dans

les années 2000 avec le lancement d'**Amazon Web Services** en 2006. Des services comme EC2 (calcul) et S3 (stockage) permettent de louer des ressources informatiques selon un modèle à la demande.

Désormais, les entreprises accèdent à une offre large : Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), Software as a Service (SaaS). Le cloud transforme l'économie logicielle : les coûts fixes d'infrastructure deviennent des abonnements mensuels, adaptables à l'activité (CAPEX vers OPEX).

Le cloud permet la **scalabilité**, la maintenance centralisée, la redondance, et alimente le développement de l'intelligence artificielle. Toutefois, il soulève des questions de **confidentialité**, **souveraineté numérique** et **impact écologique**. Il constitue une infrastructure critique de l'économie numérique contemporaine, appelée à évoluer vers des architectures plus décentralisées (edge computing) et interconnectées avec l'Internet des objets.

L'évolution du matériel informatique, de l'ère des micro-ordinateurs pionniers à l'avènement du cloud computing, témoigne d'une dynamique constante d'ouverture, de standardisation et d'intégration. Le passage du PC compatible aux smartphones illustre une tendance vers la portabilité, la convergence et l'accessibilité universelle. Le cloud, enfin, incarne le basculement vers une informatique dématérialisée, flexible, mondiale et continue, posant de nouveaux enjeux économiques, sociaux et environnementaux. Ces transformations dessinent un paysage informatique où les frontières entre machine, utilisateur et service deviennent de plus en plus floues, mais où l'impact sur nos sociétés est toujours plus profond.

Alors que les infrastructures matérielles et logicielles se sont diversifiées et dématérialisées, une autre transformation majeure s'est opérée : celle de l'interaction entre l'humain et la machine. De la carte perforée à la commande vocale, de l'écran monochrome au tactile multipoint, l'interface est devenue un enjeu central, non seulement technique mais aussi culturel. Le chapitre suivant se penche sur cette évolution cruciale : celle des interfaces homme-machine, reflet des usages et moteur de l'innovation.

## CHAPITRE 6

### L'ÉVOLUTION DE L'INTERFACE HOMME-MACHINE

*Depuis les premiers dispositifs rudimentaires permettant à l'homme d'interagir avec une machine jusqu'aux interfaces immersives de la réalité virtuelle, l'évolution de l'interface Homme-Machine (IHM) est une quête permanente pour rendre la technologie plus intuitive et accessible. Ce chapitre retrace les grandes étapes de cette transformation, des premiers écrans cathodiques aux interfaces tactiles modernes, en passant par des innovations majeures comme la souris et l'interface graphique. Avec l'apparition du concept de WYSIWYG, l'expérience utilisateur a été révolutionnée en permettant une interaction directe et fidèle avec le contenu affiché. La reconnaissance optique de caractères (OCR), quant à elle, a ouvert la voie à la conversion automatisée de l'écriture humaine en données exploitables. L'émergence des interfaces vocales et des dispositifs de réalité virtuelle illustre une volonté constante d'améliorer l'ergonomie et la fluidité des interactions entre l'homme et la machine. Aujourd'hui, que ce soit par la voix, le toucher ou des périphériques spécialisés, ces interfaces façonnent notre quotidien et redéfinissent notre rapport aux technologies. Ce chapitre explore les avancées qui ont permis cette évolution, du crayon optique aux casques de réalité virtuelle, en passant par les écrans tactiles et la reconnaissance vocale, témoins d'une informatique toujours plus humaine et naturelle.*

## 6.1 Interface Homme-Machine

Aux premiers temps de l'informatique, l'interaction entre l'homme et la machine se limitait à des moyens rudimentaires. Les opérateurs utilisaient des **commutateurs** pour entrer des données ou des instructions en code binaire, tandis que des **voyants lumineux** (LED) indiquaient l'état des différentes opérations ou composants de la machine. Cette méthode d'interaction, bien que primitive, était essentielle pour le fonctionnement et le dépannage des premiers systèmes informatiques.

L'interaction homme-ordinateur (IHO) est un domaine pluridisciplinaire qui étudie la manière dont les humains interagissent avec les systèmes informatiques. Depuis les débuts de l'informatique, l'IHO a évolué pour rendre les technologies numériques plus accessibles et intuitives.

## 6.2 Le crayon optique

En 1963, dans le cadre de sa thèse de doctorat au MIT, *Ivan Sutherland* développe **Sketchpad**, un programme révolutionnaire qui pose les bases de la conception assistée par ordinateur (CAO) et des interfaces graphiques modernes. Fonctionnant sur l'ordinateur TX-2 du Lincoln Laboratory, **Sketchpad** permet aux utilisateurs de dessiner directement sur un écran cathodique à l'aide d'un *crayon optique*.

Cette interaction directe offre une manipulation intuitive des objets graphiques, introduisant des concepts alors inédits tels que les contraintes géométriques, la sélection d'objets, et la hiérarchie graphique. Les idées explorées dans Sketchpad ont exercé une influence profonde, tant sur la programmation orientée objet que sur le développement futur des interfaces utilisateur graphiques.

Deux décennies plus tard, la France adopte une politique ambitieuse visant à introduire l'informatique dans l'enseignement primaire et secondaire. Le *plan Informatique pour Tous*, lancé en 1985, prévoit l'équipement massif des établissements scolaires avec des micro-ordinateurs Thomson, principalement les modèles TO7 et MO5. Ces machines sont munies d'un **crayon optique**, un stylet permettant aux élèves de pointer, sélectionner ou dessiner directement sur l'écran. Ce dispositif, intégré à un cadre éducatif, représente une étape importante dans la démocratisation des interfaces interactives, en offrant aux élèves une expérience informatique sans clavier ni souris.

Le crayon optique repose sur un principe simple : un capteur placé dans le stylet détecte les variations lumineuses de l'écran lorsqu'on le pointe sur une zone précise. Bien qu'il n'ait pas connu une large adoption en

dehors du milieu scolaire, il a contribué à familiariser toute une génération d'élèves français avec des modes d'interaction gestuels et directs. En cela, il a préparé le terrain à l'émergence des interfaces tactiles et au développement de l'informatique personnelle comme outil d'expression et d'exploration.

### 6.3 La souris

Parallèlement, *Douglas Engelbart*, travaillant au Stanford Research Institute (SRI), se consacre à l'amélioration de l'efficacité des interactions homme-machine. En 1964, avec l'aide de l'ingénieur *Bill English*, il crée le premier prototype de la souris, un dispositif en bois équipé de deux roues perpendiculaires. Ce périphérique, initialement surnommé « bug », permet de contrôler le positionnement du curseur à l'écran en traduisant les mouvements manuels en coordonnées X et Y. La souris est présentée au grand public lors de la démonstration historique de 1968, connue sous le nom de « The Mother of All Demos ». Bien qu'Engelbart n'ait pas perçu de royalties pour cette invention, la souris est devenue un élément central des interfaces utilisateur, transformant la manière dont les individus interagissent avec les ordinateurs.

### 6.4 L'interface graphique

À l'origine, l'interaction avec les ordinateurs ne passait pas par un clavier ou un écran, mais se faisait **de manière physique**. L'opérateur devait littéralement parcourir la pièce pour manipuler des commutateurs, insérer des cartes perforées, ou câbler manuellement les composants de la machine afin de configurer ou programmer les tâches. Ces premières interfaces étaient donc purement matérielles, longues à mettre en œuvre, et réservées à des spécialistes.

Ce n'est que plus tard que **l'interface en ligne de commande** s'est imposée, notamment dans les années 1960 et 1970. L'utilisateur interagissait alors avec l'ordinateur en tapant au clavier des instructions textuelles pour indiquer les opérations à effectuer. Bien que puissante, cette méthode exigeait une parfaite maîtrise du langage de commande, et rebutait de nombreux utilisateurs, confrontés à des messages d'erreurs obscurs et à un comportement souvent peu intuitif. Il est toutefois important de noter que cette manière de travailler n'a pas disparu : encore aujourd'hui, les informaticiens ont fréquemment recours à l'interface en ligne de commande, notamment sous les systèmes Unix/Linux via les commandes *Shell*, ou lorsqu'ils doivent administrer à distance des serveurs. La ligne de commande demeure ainsi

un outil précieux par sa souplesse, sa rapidité d'exécution et sa capacité à automatiser des tâches complexes.

Le véritable tournant dans l'histoire des interfaces utilisateur survient en 1973, lorsque le **Xerox PARC** conçoit l'ordinateur *Alto*. Il s'agit de la première station de travail dotée d'une **interface graphique** complète, incluant des fenêtres, des icônes et une souris comme dispositif de pointage. Cette interface se voulait plus intuitive, inspirée de la manipulation d'objets physiques, et marquait la naissance du *GUI* (Graphical User Interface). L'innovation de Xerox reste alors confinée aux laboratoires de recherche, mais en 1979, *Steve Jobs* découvre le projet lors d'une visite au PARC. Il décide d'en reprendre les principes pour développer un nouvel environnement sur les micro-ordinateurs Apple.

Le premier aboutissement est le *Lisa*, mais c'est en 1984 avec le *Macintosh* qu'Apple démocratise véritablement l'interface graphique, en l'intégrant directement au système d'exploitation de la machine. Ce modèle devient emblématique, et son succès inspirera les futurs systèmes Windows de Microsoft. L'interface graphique moderne repose sur quatre principes fondamentaux, souvent désignés par l'acronyme **WIMP** : *Windows, Icons, Menus, Pointing device*. Une **fenêtre** est une zone rectangulaire affichant une application ou un contenu. Une **icône** représente visuellement un fichier, un programme ou une fonction. Les **menus** permettent d'accéder à des options organisées. Enfin, le **dispositif de pointage** – généralement la souris – remplace le clavier pour la navigation et la sélection, réduisant la nécessité d'apprendre un langage de commande. Depuis les années 2010, ces principes sont largement répandus dans tous les systèmes informatiques, qu'il s'agisse de postes de travail, de tablettes ou de smartphones. Les interfaces se sont enrichies de la gestion tactile, de la reconnaissance vocale, ou encore de l'interaction gestuelle, mais elles conservent en grande partie les fondations posées par les travaux du Xerox PARC. L'évolution de l'interface graphique illustre parfaitement comment l'informatique s'est transformée pour s'adapter à l'humain, et non l'inverse. Ce changement de paradigme a été un levier majeur dans la démocratisation de l'ordinateur personnel.

## 6.5 La reconnaissance de l'écriture humaine

Parmi les avancées majeures dans le domaine des interfaces homme-machine figure la reconnaissance de l'écriture humaine, sous deux formes principales : la reconnaissance optique de caractères (*Optical Character Recognition*, ou OCR) et la reconnaissance de l'écriture manuscrite. Ces technologies poursuivent un objectif commun : permettre à l'utilisateur de

communiquer avec la machine dans un langage visuel ou scriptural qui lui est naturel, sans passer par le clavier.

La reconnaissance optique de caractères apparaît dès les années 1950. L'un des premiers systèmes, conçu par *David Shepard* en 1951, est utilisé par l'armée américaine pour automatiser la lecture de documents. À cette époque, le besoin d'accélérer le traitement administratif et de numériser des documents papier devient pressant. Des polices de caractères spécifiques sont alors développées pour améliorer la fiabilité de la lecture machine, comme l'OCR-A en 1966, standardisée par l'ANSI<sup>1</sup>.

La reconnaissance de l'écriture manuscrite, quant à elle, s'avère plus complexe en raison de la variabilité du tracé humain : inclinaison, vitesse, style personnel. Des recherches pionnières sont menées dans les années 1960, notamment chez IBM, puis dans les laboratoires japonais dans les décennies suivantes. À la fin des années 1980 et dans les années 1990, les premiers assistants numériques personnels (PDA), comme le *Palm Pilot* ou le *Newton* d'Apple, intègrent des moteurs de reconnaissance manuscrite rudimentaires. L'objectif : permettre une interaction avec un stylet ou un doigt, sans clavier physique.

Avec l'avènement de l'intelligence artificielle, ces technologies ont franchi un nouveau cap. L'utilisation de réseaux de neurones convolutifs<sup>2</sup> et de modèles d'apprentissage profond a permis des progrès significatifs en matière de précision et de gestion du contexte. Les systèmes contemporains peuvent désormais reconnaître une écriture manuscrite cursive en plusieurs langues, segmenter les lignes, identifier les mots-clés, et parfois même comprendre le sens global du texte. Par exemple, des plateformes telles que *Transkribus*<sup>3</sup> utilisent l'IA pour transcrire automatiquement des documents manuscrits historiques, facilitant ainsi le travail des chercheurs et archivistes.

Ces avancées illustrent une tendance de fond dans l'histoire des interfaces homme-machine : rendre les machines plus accessibles en se rapprochant des modes d'expression humains. L'OCR permet la lecture automatique de documents imprimés ou dactylographiés, réduisant le besoin de ressaisie manuelle. La reconnaissance manuscrite favorise une écriture

1. L'OCR-A est une police à espace fixe conçue pour être facilement lue à la fois par les humains et les systèmes optiques. Elle est toujours utilisée dans certains documents bancaires et formulaires réglementaires.

2. Un réseau de neurones convolutif (CNN) est un type d'architecture utilisé en apprentissage profond, particulièrement efficace pour le traitement des images et des données structurées en grille.

3. Transkribus est une plateforme qui utilise l'intelligence artificielle pour la reconnaissance de l'écriture manuscrite, permettant de transcrire des documents historiques avec une grande précision.

directe sur écran, comme sur les tablettes modernes. On la retrouve aujourd’hui sur de nombreux dispositifs : tablettes graphiques, systèmes de signature électronique, formulaires numériques, etc.

## 6.6 L’écran tactile

L’évolution des interfaces homme-machine suit une dynamique constante de simplification et de rapprochement entre les capacités naturelles de l’utilisateur et les moyens d’action sur la machine. Les premières expérimentations autour de l’interaction tactile remontent aux années 1950.

En 1953, le musicien canadien *Hugh Le Caine* conçoit un synthétiseur électronique utilisant des capteurs tactiles capacitifs pour contrôler des paramètres sonores.

En 1965, *Eric Johnson* développe au Royaume-Uni le premier écran tactile capacitif, conçu pour le contrôle du trafic aérien.

Quelques années plus tard, en 1971, Sam Hurst invente le premier écran tactile résistif, capable de détecter une pression exercée sur sa surface, que ce soit par le doigt ou un stylet. Ces technologies trouvent leurs premières applications concrètes avec le système *PLATO IV* de l’Université de l’Illinois en 1972, qui intègre un écran tactile infrarouge à des fins éducatives.

En 1983, Hewlett-Packard lance le *HP-150*, l’un des premiers micro-ordinateurs à écran tactile grand public, utilisant un réseau de faisceaux infrarouges pour localiser le point de contact.

À partir des années 2000, les écrans tactiles prennent une place centrale dans l’électronique grand public. L’apparition du *multi-touch*, permettant de reconnaître plusieurs points de contact simultanés, ouvre la voie à des gestes complexes : glisser, pincer, zoomer, tourner. L’iPhone, lancé en 2007, popularise massivement ce mode d’interaction qui s’impose rapidement comme standard, aussi bien sur smartphones que sur tablettes, terminaux de paiement ou tableaux de bord automobiles.

Aujourd’hui, les interfaces tactiles sont omniprésentes, et leur évolution continue dans le sens d’une plus grande fluidité. L’usage de stylets numériques précis (comme l’Apple Pencil), la reconnaissance de l’écriture manuscrite, ou encore l’intégration de l’intelligence artificielle pour interpréter les gestes et anticiper les actions, témoignent d’un mouvement profond : faire de la machine un interlocuteur adaptatif, capable de comprendre nos intentions de manière naturelle.

## 6.7 Reconnaissance et synthèse de la parole

La reconnaissance vocale est une technologie qui a transformé notre interaction avec les machines. En effet, la reconnaissance vocale, ou la capacité des machines à comprendre et interpréter la parole humaine, est devenue omniprésente dans notre quotidien. Des assistants virtuels aux systèmes de commande vocale, cette technologie a parcouru un long chemin depuis ses débuts modestes. La capacité des machines à reproduire et à comprendre la parole humaine a fasciné les inventeurs et scientifiques depuis des siècles.

En 1769, l'inventeur austro-hongrois *Wolfgang von Kempelen* a commencé à développer une machine capable de reproduire la parole humaine. Sa « machine parlante » utilisait un soufflet pour simuler les poumons, une anche pour les cordes vocales, et une cavité buccale en caoutchouc pour former les sons.

Parallèlement, en 1779, le physicien allemand *Christian Gottlieb Kratzenstein* a remporté un concours organisé par l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg en construisant un « orgue à voyelles ». Cet instrument utilisait des tuyaux de différentes formes pour reproduire les résonances caractéristiques des voyelles.

Les premières tentatives électronique et moderne de reconnaissance vocale remontent au début des années 1950. En 1952, les laboratoires Bell ont développé un système capable de reconnaître les chiffres de zéro à neuf. Ce dispositif, bien que rudimentaire, a jeté les bases des recherches ultérieures en démontrant la faisabilité de la reconnaissance automatique de la parole.

En 1961, IBM a introduit le *Shoebox*, un dispositif expérimental de reconnaissance vocale capable de comprendre 16 mots, dont les chiffres de zéro à neuf et des commandes arithmétiques telles que « plus », « moins », « total » et « sous-total ». Développé par l'ingénieur *William C. Dersch*, le Shoebox convertissait les sons en impulsions électriques, permettant ainsi d'effectuer des opérations mathématiques simples par commande vocale. Présenté lors de la Foire mondiale de Seattle en 1962, il a marqué une étape importante dans l'évolution des interactions homme-machine. L'ordinateur capte votre voix, la transforme en données numériques, analyse ces données pour identifier les sons, puis utilise des modèles linguistiques pour comprendre les mots et les phrases que vous avez prononcés.

Grâce aux avancées en intelligence artificielle, ce processus est devenu très précis, permettant des interactions naturelles entre les humains et les machines. Ce qui fait qu'aujourd'hui, la reconnaissance vocale est intégrée dans de nombreux aspects de la vie quotidienne. Les assistants virtuels tels que Siri, Google Assistant et Alexa permettent aux utilisateurs d'interagir

avec leurs appareils par la voix. Dans le domaine médical, la transcription vocale facilite la documentation clinique. Les progrès en intelligence artificielle et en apprentissage automatique ont considérablement amélioré la précision et la fiabilité de ces systèmes, les rendant plus adaptatifs aux différents accents et langues.

## 6.8 Le casque de réalité virtuelle

L'apparition des casques de réalité virtuelle constitue une avancée majeure dans l'histoire des interfaces homme-machine. Avec eux, l'interaction ne se limite plus à des commandes tapées au clavier, à des clics ou à des gestes sur un écran : l'utilisateur pénètre littéralement dans un environnement numérique. La réalité virtuelle transforme ainsi l'interface en un espace tridimensionnel immersif, où le regard, les mouvements du corps et les gestes deviennent les vecteurs de communication avec la machine.

Dès les années 1960, des chercheurs imaginent des dispositifs permettant d'immerger l'utilisateur dans une réalité simulée. En 1962, *Morton Heilig* crée le *Sensorama*, une cabine immersive multisensorielle intégrant image stéréoscopique, sons, vibrations et même diffusion d'odeurs.

En 1968, *Ivan Sutherland* et son étudiant *Bob Sproull* développent le premier casque de réalité virtuelle, surnommé le *Sword of Damocles*, suspendu au plafond en raison de son poids. Ces premiers prototypes, bien que rudimentaires, ouvrent une nouvelle forme d'interaction : l'interface spatiale.

Dans les années 1980, des entreprises comme **VPL Research**, fondée par Jaron Lanier, commencent à commercialiser des casques, gants et systèmes de suivi immersifs. Le terme même de *virtual reality* devient populaire. Cependant, la technologie reste coûteuse, encombrante et peu accessible au grand public. Ce n'est qu'au début des années 2010 que la réalité virtuelle connaît un véritable essor commercial. Des dispositifs comme l'*Oculus Rift*, le *HTC Vive* ou le *PlayStation VR* démocratisent l'usage du casque immersif. Plus récemment, des modèles autonomes comme le *Meta Quest* (anciennement *Oculus Quest*) permettent une expérience sans fil, intégrée, et accessible au plus grand nombre. Le casque de réalité virtuelle agit comme une interface sensorielle complète. Il remplace l'écran, en projetant l'environnement directement dans le champ visuel de l'utilisateur ; il remplace la souris ou le clavier, en captant les mouvements de la tête, des mains ou du regard ; il transforme l'interaction en une expérience physique et spatiale. L'interface devient un espace navigable, où l'on peut explorer, manipuler, interagir comme dans le monde réel. Cette évolution s'accompagne d'innovations complémentaires : reconnaissance de la position dans

l'espace, détection des gestes, suivi oculaire, retour haptique (via vibrations ou gants tactiles). L'objectif est toujours le même : rendre l'interaction avec la machine plus naturelle, plus intuitive, plus immersive.

## 6.9 Langages de programmation

Au-delà des dispositifs physiques ou gestuels, une autre forme essentielle d'interaction entre l'humain et la machine réside dans les langages de programmation. Depuis les débuts de l'informatique, programmer consiste à exprimer des intentions, des calculs ou des comportements que la machine va exécuter. Cette communication, bien qu'abstraite, est une interface homme-machine à part entière. Son évolution suit elle aussi une trajectoire marquée par une volonté constante de simplification, d'abstraction et de rapprochement avec les modes de pensée humains. Aux origines de l'informatique, la programmation se faisait en langage machine<sup>4</sup>, c'est-à-dire en séquences binaires correspondant aux instructions codées directement pour l'unité centrale. Ce langage naturel pour la machine ne l'était pas du tout pour l'homme et seuls quelques initiés pouvait comprendre ce flux de 0 et de 1. Très rapidement, les ingénieurs ont développé des langages symboliques, comme l'assembleur, qui permettent d'associer des mots mnémotechniques à ces instructions. Mais cette amélioration restait encore proche du matériel, difficilement accessible à des non-spécialistes. Les premières grandes avancées vers une programmation de plus haut niveau apparaissent dans les années 1950 avec des langages comme *Fortran* (1957) pour le calcul scientifique, *Lisp* (1958) pour la manipulation de structures de données symboliques, ou *COBOL* (1959) destiné au traitement automatisé des données dans le monde de l'entreprise.

Ces langages permettent de s'éloigner de l'architecture matérielle sous-jacente et d'exprimer les opérations dans une syntaxe plus proche du langage humain. Dans les années 1970, l'apparition de langages comme *Basic*, conçu pour être simple et pédagogique, marque une étape décisive. Il est massivement utilisé dans les premiers micro-ordinateurs, notamment dans les écoles. Plus tard, *Logo*, basé sur une interface graphique avec une « tortue » mobile, offre une approche ludique de l'algorithme à destination des enfants. Ces langages ne sont pas seulement des outils de programmation, ce sont aussi des interfaces pédagogiques, pensées pour favoriser l'appropriation du raisonnement informatique. Avec l'arrivée de langages modernes comme *Python* dans les années 1990, la tendance se confirme : priorité est donnée à la lisibilité, à la simplicité syntaxique et à la proxim-

---

4. Voir pour plus de détails le chapitre 7 consacré aux langages de programmation.

mité avec le langage naturel. Aujourd’hui, Python est largement utilisé dans l’enseignement, la recherche scientifique, le développement web ou encore l’intelligence artificielle. Son succès illustre cette volonté croissante de rendre la programmation plus accessible, plus expressive, et moins sujette aux erreurs. Parallèlement, les environnements de développement sont devenus interactifs. Les interfaces comme les *REPL* (Read-Eval-Print Loop), les *notebooks* (Jupyter, Colab), ou les interfaces visuelles comme *Scratch* permettent une programmation directe, immédiate, expérimentale. L’utilisateur voit instantanément les effets de son code, ce qui renforce l’aspect dialogique de l’acte de programmer.

Enfin, les récentes avancées en intelligence artificielle ajoutent une dimension nouvelle à cette interface. Il est désormais possible de générer du code à partir de descriptions en langage naturel, ou d’obtenir de l’aide en temps réel grâce à des assistants intelligents. Cette évolution tend à gommer la frontière entre langage humain et langage machine, prolongeant le mouvement amorcé dès les premiers langages de haut niveau : rendre la machine capable de comprendre ce que l’humain veut faire, et non ce qu’il doit précisément écrire.

Il convient toutefois de nuancer et malgré ces évolutions, la programmation reste aujourd’hui encore une activité principalement réservée aux développeurs, aux chercheurs ou aux professionnels formés. L’apprentissage des concepts fondamentaux, de la logique algorithmique et des structures de données demande un effort cognitif et une rigueur qui ne se sont pas totalement effacés avec le temps. Mais la tendance générale est claire : le développement devient de plus en plus accessible. Les langages sont plus simples, les environnements plus interactifs, et les outils d’assistance de plus en plus performants. Il est désormais possible pour un débutant de créer une application fonctionnelle avec peu de lignes de code, voire en manipulant des blocs visuels sans écrire une seule instruction textuelle. Cette démocratisation du développement s’inscrit pleinement dans l’histoire des interfaces homme-machine : *rendre la machine compréhensible, manipulable, et utile au plus grand nombre*.

\* Depuis les premières civilisations, l'humanité a cherché à conserver et à transmettre l'information. Des tablettes d'argile sumériennes aux bases de données modernes, cette quête a conduit à des avancées technologiques majeures qui ont façonné notre rapport au savoir et aux machines. Dans ce chapitre, nous explorerons l'évolution des supports de stockage, depuis les cartes perforées et les bandes magnétiques jusqu'aux mémoires flash et aux disques SSD. Nous verrons comment chaque innovation a permis d'accroître la capacité, la rapidité et la fiabilité du stockage de l'information, rendant ainsi l'informatique plus performante et accessible. Nous nous intéresserons également à l'impact de ces technologies sur l'informatique moderne, notamment à travers l'essor des bases de données et des systèmes de gestion développés par des entreprises comme IBM. L'évolution du stockage n'est pas seulement une question technique, mais aussi un enjeu fondamental dans notre société numérique, où la gestion et la sécurisation des données sont devenues primordiales.

## 6.10 Introduction aux mémoires informatiques

Une mémoire est un dispositif capable d'enregistrer une information pour la restituer ultérieurement. Sa capacité correspond à la quantité d'information qu'elle peut stocker, généralement exprimée en nombre de bits. Ces bits sont regroupés en **mots** de taille variable (8, 16, 32, 64 bits, etc.), selon l'architecture du système.

Chaque cellule mémoire possède une **adresse** unique, permettant à l'unité centrale de localiser et d'accéder à l'information souhaitée. Le temps nécessaire pour lire ou écrire une donnée est appelé **temps d'accès**. Réduire ce temps est crucial pour améliorer les performances, mais cela augmente souvent le coût de fabrication.

Pour concilier rapidité et économie, les systèmes informatiques ont adopté une hiérarchie de mémoire. La mémoire principale, rapide mais coûteuse, est directement accessible par le processeur. Toutes les informations passent par la mémoire principale. À un niveau encore plus rapide, mais de capacité extrêmement réduite, on trouve les **registres** intégrés au sein même du processeur, qui stockent temporairement les données immédiatement utilisées par les instructions. En complément, des mémoires secondaires, telles que les disques durs ou les SSD, offrent une grande capacité de stockage à moindre coût, bien qu'elles soient plus lentes.

Dans ce chapitre, nous explorerons les différentes technologies de mémoire utilisées au fil du temps, en mettant en lumière leurs caractéristiques, avantages et inconvénients.

## 6.11 Les premiers systèmes de stockage

### La carte perforée

Les cartes perforées trouvent leur origine au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, lorsque *Basile Bouchon* et *Jean-Baptiste Falcon* développèrent un système de contrôle pour métiers à tisser utilisant des bandes perforées. C'est toutefois *Herman Hollerith* qui, entre 1880 et 1890, adapta cette technologie au traitement des données pour le recensement américain. Chaque carte, rigide, comportait 80 colonnes et 12 lignes ; une perforation à l'intersection d'une colonne et d'une ligne indiquait la présence d'une information (« 1 »), son absence représentait un « 0 ». Ainsi, une carte pouvait stocker jusqu'à 960 bits. Ces cartes permettaient un traitement mécanique des données et marquèrent les débuts de l'automatisation dans l'histoire informatique.

## Les relais électromécaniques

Avant l'apparition des tubes à vide, certains des premiers ordinateurs utilisaient des **relais électromécaniques** pour stocker et traiter des informations. Un relais est un interrupteur actionné électriquement : lorsqu'un courant traverse une bobine, celle-ci attire un contact métallique, fermant ou ouvrant un circuit. Un bit d'information était représenté par l'état du relais : *contact fermé* pour un 1, *contact ouvert* pour un 0. Cette méthode permettait de conserver l'information tant que l'alimentation était maintenue. Toutefois, les relais étaient relativement lents (temps de commutation de l'ordre de quelques millisecondes) et mécaniquement fragiles. Des ordinateurs emblématiques comme le *Z3* de Konrad Zuse (1941) ou le *Harvard Mark I* (1944) utilisaient massivement cette technologie, marquant ainsi une première étape vers l'automatisation du calcul, avant l'ère électronique.

## Le tube à vide

Le **tube à vide** agit comme un interrupteur contrôlant le passage du courant électrique. Selon la tension appliquée à sa grille, il laisse passer ou bloque le flux d'électrons, représentant ainsi un bit : courant présent pour un « 1 », courant bloqué pour un « 0 ». Assemblés en circuits, les tubes pouvaient mémoriser temporairement des informations tant que l'alimentation était maintenue. Malgré leur importance, ils étaient fragiles, encombrants et énergivores.

## Les tubes à vide rapides

Pour améliorer la vitesse de calcul des premiers ordinateurs électroniques, des **tubes à vide rapides** furent spécialement développés. Par rapport aux tubes standards, ces versions optimisées présentaient des temps de commutation beaucoup plus courts, réduisant la latence des circuits logiques, notamment pour les bascules (*flip-flops*) et les portes logiques.

Utilisés dans des machines comme l'*ENIAC* ou le *Whirlwind I*, ces tubes permettaient de traiter plusieurs milliers d'opérations par seconde, une performance exceptionnelle pour l'époque. Toutefois, leur consommation électrique restait élevée, et leur durée de vie limitée impliquait des pannes fréquentes.

## La mémoire à lignes à retard

Avant l'apparition de mémoires électroniques fiables, certains ordinateurs utilisaient des **lignes à retard** pour stocker temporairement des

données. Le principe repose sur un support matériel (comme un tube de mercure ou un câble torsadé) où un signal, représentant un bit, est envoyé sous forme d'onde acoustique ou électrique. L'information est stockée sous forme d'une impulsion qui met un certain temps à traverser le support. Quand l'impulsion atteint la fin, elle est amplifiée et renvoyée au début pour continuer à circuler, permettant ainsi de conserver l'information tant que le système reste alimenté.

Les *delay line memory* furent utilisées dans les premiers calculateurs des années 1940, notamment dans le *Manchester Mark I* et l'*EDSAC*. Leur principal inconvénient était la nature **séquentielle** de l'accès aux données : pour lire un mot donné, il fallait attendre que l'impulsion correspondante atteigne le récepteur. Cela limitait la vitesse et compliquait la programmation.

Malgré ces contraintes, la mémoire à lignes à retard représentait un progrès par rapport aux solutions purement mécaniques, offrant une densité de stockage et une fiabilité accrues pour l'époque. Elle fut progressivement remplacée dans les années 1950 par des technologies plus rapides, comme les tubes électrostatiques de Williams ou la mémoire à tores de ferrite.

## La mémoire à tube de Williams

La mémoire à tube de Williams utilise un écran cathodique pour stocker des bits sous forme de charges électriques sur sa surface. Chaque point chargé représente un bit (1) et l'absence de charge un autre état (0). Ces charges étaient brièvement visibles sur l'écran comme de petites taches lumineuses. La lecture consistait à détecter ces taches à l'aide d'une plaque de détection placée devant l'écran. Comme les charges avaient tendance à s'effacer rapidement, il fallait les rafraîchir en permanence pour conserver l'information.

## La mémoire à tores de ferrite

La mémoire à tores de ferrite utilise de petits anneaux magnétiques, appelés *tores*, pour stocker l'information. Chaque tore peut être magnétisé dans un sens ou dans l'autre pour représenter un bit (0 ou 1). Une fois l'orientation magnétique écrite, elle reste stable sans alimentation électrique. La lecture consiste à détecter l'orientation du champ magnétique à travers des fils enroulés autour du tore. Ce principe permet une conservation fiable de l'information et explique pourquoi cette technologie a longtemps dominé le marché des mémoires principales.

## 6.12 Les supports magnétiques

Tous les supports magnétiques reposent sur le même principe physique : l'information est stockée en contrôlant localement l'orientation du champ magnétique d'un matériau ferromagnétique. Chaque bit de donnée (0 ou 1) est représenté par une direction particulière de l'aimantation.

Lors de l'écriture, une tête magnétique génère un champ pour orienter les zones du support dans un sens ou dans l'autre, en fonction des données à enregistrer. Lors de la lecture, la tête détecte les variations d'orientation magnétique pour restituer l'information.

Ce principe de base est utilisé, avec des variantes technologiques, dans différents supports comme la bande magnétique, les tambours magnétiques, ou les disques durs.

### La bande magnétique

Inventée en 1928 par l'ingénieur allemand *Fritz Pfleumer*, la bande magnétique utilisait à l'origine une fine bande de papier enduite de poudre d'oxyde de fer pour enregistrer des signaux. Cette technologie fut d'abord appliquée à l'enregistrement audio avant d'être adoptée par l'industrie informatique dans les années 1950 pour le stockage de données.

Les bandes magnétiques permirent de stocker de grandes quantités d'informations à moindre coût, avec une excellente densité linéaire et une bonne longévité. Elles devinrent rapidement un standard pour les sauvegardes, les archives à long terme et les transferts de grandes masses de données, un rôle qu'elles conservent encore aujourd'hui dans certains environnements industriels (par exemple avec les technologies modernes comme le LTO, Linear Tape-Open).

### Le tambour magnétique

Introduit à la fin des années 1940, le **tambour magnétique** fut l'une des premières formes de mémoire rapide pour ordinateur. Il s'agit d'un cylindre recouvert d'une fine couche de matériau ferromagnétique, capable de conserver des informations sous forme d'aimantation. Des têtes de lecture/écriture fixes sont alignées sur le tambour et peuvent accéder aux données au fur et à mesure de la rotation du cylindre.

Utilisé dans des machines comme l'IBM 650, le tambour offrait un accès plus rapide que les bandes magnétiques, bien que l'attente de la rotation pour atteindre une donnée spécifique puisse allonger les temps d'accès. Le placement optimal des données était donc crucial pour maximiser les performances. Peu à peu supplanté par les mémoires à tores de ferrite puis par

les mémoires à semi-conducteurs, le tambour magnétique a marqué une étape importante dans l'histoire des mémoires informatiques.

## Les cassettes

Introduites par **Philips** en 1963, les cassettes audio, également appelées *compact cassettes*, furent initialement conçues pour l'enregistrement sonore. Dans les années 1970 et 1980, elles furent détournées pour le stockage de données informatiques. Les micro-ordinateurs de l'époque, tels que le *Commodore 64* ou le *ZX Spectrum*, utilisaient les cassettes pour charger des programmes et sauvegarder des données.

La vitesse de transfert était relativement lente : charger un petit programme de quelques kilooctets pouvait prendre plusieurs minutes. Pour certains jeux plus volumineux, le temps de chargement pouvait atteindre une demi-heure, nécessitant souvent plusieurs tentatives en cas d'erreurs de lecture.

Le format cassette, accessible et économique, facilita aussi les premiers phénomènes de piratage : il suffisait d'utiliser une chaîne hi-fi à double lecteur pour copier facilement les cassettes de logiciels ou de jeux d'un support à un autre, popularisant ainsi la duplication non autorisée avant l'arrivée de méthodes de protection plus sophistiquées.

## La disquette

Le disque souple, ou disquette, fut introduit par IBM en 1971. Mesurant initialement 8 pouces (environ 20 cm), il consistait en un disque magnétique flexible protégé par une enveloppe en plastique. La paternité de l'invention de la disquette est sujette à débat. IBM est généralement reconnu pour avoir introduit la première disquette en 1971, développée par une équipe dirigée par *Alan Shugart*. Cependant, l'inventeur japonais *Yoshiro Nakamatsu*, également connu sous le nom de Dr. NakaMats, affirme avoir inventé un dispositif similaire dès 1950 et avoir obtenu un brevet japonais en 1952 pour une « feuille d'enregistrement magnétique ». IBM aurait par la suite conclu des accords de licence avec lui en 1979. Malgré ces affirmations, IBM maintient que son équipe interne a développé la disquette indépendamment.

La disquette, pour IBM, avait pour objectif principal de charger le microcode dans les systèmes informatiques, notamment pour les modèles de la série IBM System/370. Par exemple, le modèle 145 utilisait une mémoire de contrôle rechargeable (Reloadable Control Storage – RCS) qui permettait de charger le microcode à partir d'une disquette, facilitant ainsi les mises à jour et les modifications fonctionnelles du système. Cette approche

offrait une flexibilité accrue par rapport aux microprogrammes stockés en mémoire non modifiable. Ainsi ces premières disquettes ne disposaient que de 80 Ko de capacité de stockage. Le principe de fonctionnement est toujours magnétique et c'est la tête de lecture/écriture qui magnétise des zones spécifiques du disque pour écrire des données ou détecte les variations de champ magnétique pour lire les données existantes. Les disquettes de 5,25 pouces apparurent ensuite, suivies des versions de 3,5 pouces dans les années 1980 introduit par Sony. Elles offraient une solution de stockage portable et ré-inscriptible, facilitant le transfert de données entre ordinateurs et la distribution de logiciels. La disquette 3,5 pouces (environ 9 cm) avait une capacité initiale de 720 Ko puis de 1 440 Ko.

Les ordinateurs Amstrad, notamment les modèles CPC 6128 et 664, utilisaient des disquettes au format 3 pouces, un format moins répandu que les disquettes de 3,5 pouces ou 5,25 pouces. Ces disquettes avaient une capacité de stockage d'environ 178 ko par face, nécessitant souvent de retourner la disquette pour accéder à l'autre face. Ce choix de format, bien que moins courant, offrait une alternative compacte et robuste pour le stockage de données à l'époque.

## Les disques durs magnétiques

Les disques durs magnétiques, introduits dans les années 1950, ont révolutionné le stockage des données en offrant une capacité accrue et un accès plus rapide que les bandes magnétiques, jusque-là dominantes. Le premier disque dur, le **IBM 350**, faisait partie du système **RAMAC 305** (*Random Access Method of Accounting and Control*) lancé en 1956. Il utilisait cinquante plateaux de 24 pouces de diamètre, empilés verticalement et tournant à 1200 tours par minute, pour fournir une capacité de stockage d'environ 5 mégaoctets – une prouesse technique pour l'époque, bien que l'ensemble pesât près d'une tonne.

Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation de matériaux ferromagnétiques pour enregistrer les données sous forme de polarités magnétiques distinctes, représentatives des valeurs binaires. La lecture et l'écriture sont assurées par des têtes magnétiques positionnées par un mécanisme de bras mobiles.

Au fil des décennies, les disques durs magnétiques ont connu plusieurs avancées majeures :

- **Densité d'enregistrement accrue** : grâce aux techniques telles que l'enregistrement longitudinal, puis perpendiculaire, et plus récemment l'enregistrement magnétique assisté par chaleur (*HAMR*) ou par micro-ondes (*MAMR*).

- **Miniaturisation** : la taille des plateaux est passée de 24 pouces à des formats standardisés tels que 3,5 pouces pour les ordinateurs de bureau et 2,5 pouces pour les ordinateurs portables.
- **Fiabilité et vitesse** : l'introduction de la technologie *fluid dynamic bearing* pour les moteurs, de caches de lecture/écriture plus rapides, ainsi que de systèmes d'autocorrection d'erreurs (ECC) ont considérablement amélioré les performances.
- **Interface et protocole** : les disques durs sont passés des connexions à interface parallèle (SCSI, PATA) à des interfaces série plus rapides et robustes (SATA, SAS).

Malgré la montée en puissance des mémoires flash (SSD) depuis les années 2010, les disques durs magnétiques restent pertinents pour les usages nécessitant un compromis économique entre capacité de stockage et coût au gigaoctet, notamment dans les centres de données, les serveurs d'archivage, ou les systèmes de sauvegarde massifs.

Aujourd'hui, les disques durs de grande capacité peuvent dépasser les 20 téraoctets par unité, exploitant des techniques avancées comme le *shingled magnetic recording* (SMR) ou encore l'empilement multi-niveaux (*multi-actuator drives*), pour continuer à répondre aux besoins croissants en volume de données.

## 6.13 Les mémoires internes des ordinateurs

### Les RAM

La mémoire vive, ou *Random Access Memory* (RAM), est essentielle à l'architecture informatique moderne. Contrairement aux dispositifs de stockage permanent, elle permet d'accéder rapidement aux données en cours de traitement, avec une lecture/écriture directe (accès aléatoire). Le terme « random » indique ainsi qu'on peut atteindre n'importe quelle cellule mémoire sans parcours séquentiel, contrairement aux bandes magnétiques.

La première RAM électronique fut développée à la fin des années 1940 par Frederic C. Williams et Tom Kilburn avec la **mémoire à tube de Williams**, utilisée dans le *Manchester Baby* en 1948. Elle fut remplacée au début des années 1950 par la **mémoire à tores de ferrite**, inventée par An Wang et Jay Forrester, offrant fiabilité et conservation de l'information même sans alimentation. Ces mémoires équipèrent notamment l'IBM 360 et les systèmes de la NASA.

Avec les progrès des semi-conducteurs, la **SRAM** (Static RAM) apparaît en 1964 (IBM), puis l'Intel 3101 en 1971. Robert Dennard imagine en

1966 la **DRAM** (Dynamic RAM), beaucoup plus dense, reposant sur un seul transistor et un condensateur par bit, révolutionnant l'augmentation des capacités mémoire. L'Intel 1103 (1970) est la première DRAM commerciale.

La montée en puissance des microprocesseurs conduit à la **SDRAM** (fin des années 1990), synchronisée avec l'horloge du processeur, puis aux générations **DDR** (Double Data Rate) : DDR, DDR2, DDR3, DDR4, DDR5. Ces évolutions améliorent la bande passante tout en réduisant la consommation d'énergie.

Aujourd'hui, la RAM se décline en variantes spécialisées : *LPDDR* pour les appareils mobiles et *GDDR* pour les cartes graphiques. L'avenir se dessine autour de nouvelles technologies émergentes comme la *MRAM* et la *ReRAM*, combinant rapidité, faible consommation et persistance de l'information.

## Les ROM

Les mémoires mortes ou **ROM** (Read-Only Memory) sont écrites une fois seulement et après on ne peut que les lire. Restriction importante mais l'avantage est qu'elles ne sont pas volatiles.

Utilisée pour stocker des données qui ne changent pas, même lorsque l'appareil est éteint. Elle est essentielle pour conserver des informations cruciales, telles que les programmes de démarrage des ordinateurs. Dans les années 60, les premières ROM étaient gravées directement sur des plaques de silicium lors de leur fabrication, rendant leur contenu immuable. Cette caractéristique leur a valu le nom de « mémoire morte ».

L'information était enregistrée de manière permanente grâce à la structure même du circuit intégré en utilisant un réseau de transistors et de connexions gravées sur la puce de silicium. Dans le début des années 70, il y a eu l'apparition des **PROM** (Programmable Read-Only Memory) qui a permis aux utilisateurs de programmer la mémoire une seule fois après sa fabrication. Cette programmation se faisait en « grillant » des fusibles internes pour enregistrer les données. Puis durant les années 70, Les **EPROM** (Erasable Programmable Read-Only Memory) ont été introduites, offrant la possibilité d'effacer et de reprogrammer la mémoire. L'effacement nécessitait une exposition aux rayons ultraviolets. Dans les années 80, Les **EEROM** (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) ont révolutionné le domaine en permettant l'effacement et la reprogrammation électriques, sans nécessiter de manipulation physique particulière. Cette technologie est à la base des mémoires flash modernes, utilisées dans les clés USB et les SSD.

La mémoire morte est principalement utilisée pour stocker des informations essentielles au fonctionnement des appareils électroniques, telles que le BIOS/UEFI : Programmes de démarrage des ordinateurs, stockés dans la ROM pour garantir leur disponibilité immédiate à l'allumage et les Microprogrammes (firmwares) : Logiciels intégrés dans divers appareils (smartphones, lecteurs DVD, électroménager) pour contrôler leur fonctionnement de base.

Les mémoires ROM ont également trouvé des applications dans le grand public, notamment dans l'industrie du jeu vidéo. À partir de 1976, avec la console Fairchild Channel F, les jeux vidéo furent distribués sous forme de **cartouches** contenant une ROM. Cette approche, adoptée par des consoles emblématiques comme la **Nintendo Entertainment System** (NES) et la **Sega Genesis**, permettait de changer de jeu en insérant une nouvelle cartouche, chaque ROM stockant un programme différent. Ce système assurait une grande robustesse et des temps de chargement quasi instantanés, caractéristiques appréciées jusqu'à l'apparition des supports optiques dans les années 1990.

## 6.14 Les supports optiques

Les supports optiques stockent les données en gravant une succession de microcuvettes (appelées *pits*) et de surfaces planes (*lands*) sur une couche réfléchissante du disque. Lors de la lecture, un faisceau laser est dirigé sur la surface du disque en rotation.

Les *pits* et *lands* modifient différemment la réflexion du faisceau : une transition entre un *pit* et un *land* (ou inversement) est interprétée comme un bit de donnée. L'absence de transition correspond à une suite de bits identiques.

Ainsi, l'information est encodée dans les changements de réflexion détectés par une photodiode, puis reconvertie en signal numérique.

\*

**CD, DVD** Avant l'avènement des supports optiques, les données étaient principalement conservées sur des supports magnétiques tels que les bandes magnétiques et les disquettes comme nous l'avons vu précédemment. Ces technologies, bien que révolutionnaires à leur époque, présentaient des limitations en termes de capacité de stockage, de durabilité et de vitesse d'accès. L'introduction du **Compact Disc** (CD) en **1982**, fruit d'une collaboration entre *Philips* et *Sony*, a marqué une avancée significative.

Initialement conçu pour l'industrie musicale, le CD a rapidement été adopté par le secteur informatique pour la distribution de logiciels et le stockage de données, grâce à sa capacité de 700 Mo et sa durabilité supérieure aux supports magnétiques.

En 1988, le CD-R (Compact Disc Recordable) a permis aux utilisateurs d'enregistrer leurs propres données, facilitant ainsi la sauvegarde et le partage d'informations. Le **Digital Versatile Disc** (DVD), introduit en 1995, a étendu ces capacités, offrant jusqu'à 4,7 Go de stockage sur un disque simple couche. Cette augmentation significative a permis de répondre aux besoins croissants en matière de stockage de données volumineuses, notamment pour les applications multimédias et les bases de données complexes. Ces supports optiques ont non seulement amélioré la capacité et la fiabilité du stockage informatique, mais ont également facilité la distribution massive de logiciels et de contenus numériques.

Cependant, avec l'avènement des technologies de stockage en ligne et des supports à semi-conducteurs comme les clés USB et les disques SSD, l'utilisation des CD et DVD a progressivement décliné.

## 6.15 Les mémoires flash et modernes

Les clés USB et les SSD utilisent de la mémoire flash, dans laquelle les données sont stockées en piégeant des charges électriques dans des cellules de mémoire. Chaque cellule contient un transistor spécial capable de retenir ou non une charge. La charge est piégée dans une grille isolée électriquement ; l'isolant empêche les électrons de s'échapper, ce qui permet de conserver l'information sans courant.

La présence ou l'absence de cette charge permet de représenter un bit (0 ou 1). La lecture consiste à mesurer l'état électrique de chaque cellule pour reconstituer l'information. Comme il n'y a pas de pièces mobiles, l'accès aux données est très rapide.

\*

Les mémoires flash Les mémoires flash ont permis une solution non volatile, rapide et fiable. Les mémoires flash n'ont pas rendu immédiatement les CD et DVD obsolètes. Ces derniers ont continué à être largement utilisés pour la distribution de contenus multimédias, de logiciels et pour l'archivage de données pendant plusieurs décennies.

Inventée au début des années 1980 par le *Dr. Fujio Masuoka* chez Toshiba, la mémoire flash permet d'effacer et de reprogrammer électroniquement des données, offrant une flexibilité inédite dans la gestion de l'infor-

mation. Basée sur des cellules de mémoire capables de conserver les données sans alimentation électrique, la mémoire flash se décline en deux principales architectures : NOR et NAND. La mémoire NOR, introduite par Intel en 1988, offre un accès rapide et aléatoire aux données, la rendant idéale pour stocker du code exécutable dans des appareils embarqués. En revanche, la mémoire NAND, commercialisée par Toshiba en 1989, privilégie une densité de stockage plus élevée et des vitesses d'écriture/effacement supérieures, ce qui la rend particulièrement adaptée au stockage de masse dans des dispositifs tels que les clés USB, les cartes mémoire et les lecteurs MP3. Au fil des décennies, la mémoire flash a connu des avancées significatives en termes de capacité et de performance. Par exemple, en 2005, Toshiba et SanDisk ont développé une puce NAND capable de stocker 1 Go de données en utilisant la technologie multi-niveaux (MLC), permettant de stocker deux bits par cellule. En 2006, Samsung a annoncé des disques durs flash de 4 Go, et en 2008, SanDisk a rendu disponibles des cartes MicroSDHC de 16 Go.

\*

**Les SSD** Les SSD (Solid-State Drives) ont transformé le paysage du stockage informatique en s'imposant comme une alternative sérieuse, puis supérieure, aux disques durs traditionnels à plateaux magnétiques. Tirant parti des propriétés de la mémoire flash, ces dispositifs ont permis d'atteindre des vitesses de lecture et d'écriture bien supérieures, tout en réduisant considérablement les temps d'accès aux données. Apparus au début des années 1990 dans des applications industrielles ou militaires très spécifiques, les premiers SSD étaient coûteux et réservés à des usages de niche. Ce n'est qu'avec les progrès de la mémoire NAND<sup>5</sup> et la baisse des coûts de fabrication que les SSD ont commencé à être intégrés dans les ordinateurs personnels au début des années 2010. Leur généralisation a marqué une rupture majeure dans l'expérience utilisateur : les systèmes d'exploitation se lançaient en quelques secondes, les logiciels s'ouvraient instantanément, et les transferts de fichiers devenaient quasi transparents. Toutefois, cette transition ne s'est pas faite instantanément. Pendant de nombreuses années, les disques durs (HDD) ont cohabité avec les SSD, ces derniers étant encore coûteux et de capacités moindres. Ce n'est que récemment, avec l'apparition des SSD grand public de plusieurs téraoctets et l'adoption des interfaces

---

5. La mémoire NAND, introduite par Toshiba en 1989, est une architecture de mémoire flash optimisée pour le stockage à haute densité. Contrairement à la mémoire NOR, elle permet une écriture et un effacement plus rapides, mais n'autorise pas l'exécution directe de code. Elle est particulièrement utilisée dans les SSD, clés USB et cartes mémoire.

NVMe<sup>6</sup>, que les SSD ont véritablement supplanté les disques durs dans la plupart des usages informatiques. Aujourd'hui, les SSD incarnent une nouvelle norme pour le stockage interne, tant sur ordinateur personnel que dans les centres de données. Leur silence, leur faible consommation énergétique et leur grande tolérance aux chocs en font des dispositifs parfaitement adaptés à l'informatique moderne, tant mobile que stationnaire.

## 6.16 IBM et les SGBD

Dans les premières décennies de l'informatique, la gestion des données était intimement liée aux applications spécifiques, chaque système développant ses propres méthodes de stockage. Cette approche engendrait une duplication des efforts et une inefficacité notable. Conscient de ces défis, IBM a joué un rôle déterminant dans l'évolution des systèmes de gestion de bases de données (SGBD), contribuant ainsi à structurer et à standardiser le stockage de l'information.

En 1970, *Edgar F. Codd*, chercheur chez IBM, introduisit le concept de modèle relationnel, proposant d'organiser les données en tables interconnectées, simplifiant leur manipulation et leur interrogation. Cette approche théorique a modernisé les SGBD en introduisant des concepts tels que l'indépendance des données et l'utilisation d'un langage déclaratif pour les requêtes. Pour mettre en pratique le modèle relationnel, IBM a initié le projet System R au début des années 1970. Ce projet visait à créer un prototype de SGBD relationnel et a conduit au développement de SEQUEL (Structured English Query Language), qui deviendra plus tard le **SQL** (Structured Query Language), aujourd'hui standard pour l'interrogation des bases de données relationnelles.

En 1981, IBM a commercialisé son premier SGBD relationnel sous le nom de SQL/DS (Structured Query Language/Data System), destiné aux systèmes d'exploitation DOS/VSE et VM/CMS.

Deux ans plus tard, en 1983, IBM a lancé **DB2** pour le système d'exploitation MVS, renforçant ainsi sa position dans le domaine des SGBD relationnels.

Les contributions d'IBM dans le domaine des SGBD ont eu un impact profond et durable sur l'industrie informatique. En standardisant la manière dont les données sont stockées, organisées et interrogées, IBM a facilité le développement d'applications plus flexibles et performantes. Le

6. Le protocole NVMe (Non-Volatile Memory Express) permet un accès plus rapide à la mémoire flash en exploitant pleinement le potentiel des connexions PCIe, contrairement à l'interface SATA conçue à l'origine pour les disques mécaniques.

modèle relationnel et le langage SQL, en particulier, sont devenus des piliers de l'informatique moderne, influençant de nombreux systèmes de gestion de bases de données développés ultérieurement. Au fil des décennies, le paysage des SGBD a continué d'évoluer. Dans les années 1980 et 1990, des concurrents tels qu'Oracle, Microsoft avec SQL Server, et des solutions open source comme MySQL et PostgreSQL ont émergé, enrichissant le marché avec des alternatives diversifiées. Plus récemment, face aux besoins croissants en termes de volume de données et de performance, des systèmes dits NoSQL ont vu le jour, offrant des solutions adaptées aux données non structurées et aux architectures distribuées.

## CHAPITRE 7

### LES LANGAGES DE PROGRAMMATION

*Depuis les origines de l'informatique, les langages de programmation jouent un rôle central dans la manière dont l'être humain communique avec la machine. Leur évolution reflète non seulement les avancées technologiques, mais aussi les besoins changeants des utilisateurs, qu'ils soient scientifiques, ingénieurs, enseignants ou développeurs de tous horizons. Ce chapitre retrace l'histoire des langages de programmation à travers plusieurs axes : des premiers langages bas niveau qui épousaient les contraintes matérielles, jusqu'aux langages modernes polyvalents et accessibles, en passant par les grandes révolutions conceptuelles comme la programmation structurée, la programmation orientée objet et les langages spécialisés pour l'intelligence artificielle. Nous explorerons comment certains langages sont nés d'un contexte culturel ou industriel particulier (comme COBOL pour la gestion ou BASIC pour l'enseignement), comment d'autres ont profondément influencé les paradigmes de pensée en informatique (comme LISP ou SMALLTALK), et comment les enjeux contemporains de sécurité, d'accessibilité, et de performance continuent de façonner les outils du développeur moderne. Plutôt que de suivre une chronologie stricte, ce chapitre adopte une approche thématique pour mieux faire ressortir les ruptures, les continuités et les réinventions dans l'histoire des langages. Il s'agit d'une invitation à comprendre que derrière chaque langage, il y a une vision du monde informatique, une communauté, et souvent, une ambition de rendre la programmation plus expressive, plus rigoureuse, ou plus démocratique.*

## 7.1 Les premiers langages : Assembleur, Fortran

Avant l'apparition des langages de programmation, la programmation se faisait directement en **langage machine**, c'est-à-dire une suite de 0 et de 1 correspondant aux instructions compréhensibles par le processeur. Cette méthode, bien que efficace pour communiquer avec la machine, était extrêmement laborieuse pour un cerveau humain et sujette aux erreurs. Même si pour von Neumann c'était le langage le plus parfait ! La moindre modification dans les besoins nécessitait de réécrire des portions entières du code binaire. La programmation était donc réservée à une élite de spécialistes. À l'origine, les personnes chargées de programmer devaient avoir une connaissance intime de la machine. La programmation était souvent un processus physique : par exemple, sur l'ENIAC (*voir page 73*), il fallait manipuler des interrupteurs et changer des câblages manuellement. Les programmeurs se déplaçaient dans la salle avec des schémas détaillés de l'ordinateur, ajustant les connexions pour adapter la machine aux nouveaux calculs. L'apparition du concept de **programme enregistré** a simplifié la tâche de programmation en permettant aux ordinateurs de stocker et d'exécuter des séquences d'instructions. Cependant, il restait nécessaire d'établir des règles et des langages permettant de traduire des problèmes concrets en une forme que la machine pouvait comprendre.

### Alan Turing et le Manchester Mark I

Le **Manchester Mark I** (*voir page 70*), développé à l'Université de Manchester en 1949, est l'un des premiers ordinateurs électroniques à programme enregistré. **Alan Turing**, célèbre pour ses travaux sur la machine de Turing, rejoint l'équipe en 1948 et joue un rôle déterminant dans l'élaboration des premières instructions et programmes destinés à cette machine. Turing développe des algorithmes et rédige des instructions qui permettront au Manchester Mark I de réaliser des calculs complexes, comme la recherche de nombres premiers. Le langage qu'il conçoit comprend environ cinquante instructions, traduites automatiquement en binaire. Cette innovation marque une avancée majeure dans l'idée même de programmation : désormais, l'objectif n'est plus seulement de faire fonctionner la machine, mais de **maximiser l'efficacité du temps de calcul**, un bien précieux dans les premiers jours de l'informatique. Le travail de Turing sur le Manchester Mark I illustre une transition fondamentale dans l'histoire de la programmation : il ne s'agit plus de câbler physiquement des circuits, mais d'écrire des instructions abstraites qui peuvent être modifiées sans intervention matérielle directe. En créant les premières instructions pour le Manchester Mark I, Turing invente une méthode pour communiquer direc-

tement avec la machine, marquant les premiers pas vers la programmation moderne. Maurice Wilkes, en développant l'assembleur, reprend cette idée en la rendant plus accessible.

## L'Assembleur : L'émergence d'un langage intermédiaire

En 1950, **Maurice V. Wilkes** de l'Université de Cambridge introduit ce langage permettant de remplacer les chaînes binaires par des *mémorables* compréhensibles, telles que MOV ou ADD, facilitant ainsi la communication avec la machine. Grâce à l'assembleur, les ingénieurs ont pu abandonner la lourdeur du binaire pour manipuler des instructions plus lisibles, réduisant par conséquent les risques d'erreurs humaines. Cette avancée marque les prémisses de la séparation entre le langage humain et les exigences matérielles, ouvrant la voie à une programmation plus intuitive.

### Exemple de code Assembleur :

```
MOV AX, 5 ; Charger la valeur 5 dans le registre AX
MOV BX, 3 ; Charger la valeur 3 dans le registre BX
ADD AX, BX ; Additionner BX à AX (AX = AX + BX)
MOV CX, AX ; Stocker le résultat dans le registre CX
```

Bien que bas niveau, l'assembleur reste un outil clé pour les systèmes embarqués et les programmes nécessitant des performances optimales. Il conserve sa pertinence aujourd'hui dans certains secteurs critiques.

## Fortran : L'essor du calcul scientifique

Alors que l'assembleur facilitait l'interaction directe avec la machine, un besoin grandissant se faisait sentir : celui d'un langage plus abstrait, capable de gérer des calculs complexes sans s'enliser dans les détails du matériel. De 1953 à 1956, **IBM**, sous la direction de **John Backus**, développe le **Fortran** (FORmula TRANslator) sur l'ordinateur IBM 701. Fortran est souvent reconnu comme le premier langage de *haut niveau*, car il permet d'exprimer des programmes à travers des instructions proches du langage mathématique. Cependant, une telle abstraction introduit une nouvelle problématique : la machine ne peut pas interpréter directement ces instructions. Il devient nécessaire de créer un autre programme pour assurer la traduction du code en langage machine.

Ce programme, appelé *compilateur*, joue le rôle d'intermédiaire entre le code source et la machine. L'un des avantages majeurs de Fortran réside dans la **portabilité** qu'il offre. Un même programme pouvait être

exécuté sur des machines différentes, à condition de disposer d'un compilateur adapté à chaque architecture. Ce modèle permettait non seulement de gagner du temps, mais aussi d'optimiser l'utilisation des ressources de la machine, car le compilateur s'occupait d'ajuster certaines instructions pour améliorer la vitesse d'exécution et la gestion de la mémoire.

### Exemple de code FORTRAN :

```
PROGRAM Addition
INTEGER :: A, B, C
A = 5
B = 3
C = A + B
PRINT *, 'Le résultat est : ', C
END PROGRAM Addition
```

Fortran a été conçu pour répondre aux besoins croissants des scientifiques et ingénieurs qui cherchaient à effectuer des calculs intensifs rapidement et avec moins d'erreurs. Il a permis aux utilisateurs d'exprimer leurs formules de manière claire et concise, tout en automatisant leur traduction en code machine exécutable. Cette automatisation a considérablement réduit le temps nécessaire pour développer et tester des programmes complexes.

### Les apports de Fortran :

- **Simplicité des calculs mathématiques** : Fortran introduit des structures permettant de manipuler facilement des matrices et des équations complexes.
- **Optimisation des performances** : Les compilateurs Fortran traduisent efficacement le code en instructions machine optimisées.
- **Portabilité** : Les programmes Fortran peuvent être exécutés sur différentes machines, ce qui encourage leur adoption dans la communauté scientifique.
- **Longévité** : Fortran reste utilisé aujourd'hui dans certains domaines nécessitant des calculs intensifs, comme la météorologie et la physique nucléaire.

Ainsi, Fortran a non seulement simplifié la programmation, mais a aussi ouvert la voie à des langages plus sophistiqués, influençant des générations de langages comme C et Python.

## 7.2 La recherche d'une standardisation : Cobol

La fin des années 1950 est marquée par des tentatives de normalisation des langages. En 1958, un comité européen et américain élabore **Algol (ALGOrithmic Language)**, destiné à la publication d'algorithmes. Algol language très théorique, sera très peu utilisé, mais influencera de nombreux langages futurs, comme Pascal et C. Et de cette envie de standardisation naîtra le Cobol.

### COBOL : Le Langage de la Gestion (1959)

**Grace Hopper**, pionnière de la programmation, s'intéresse aux langages qui utilisent des mots voire des expressions du « langage naturel ». Après B0 et Flowmatic, elle participe, dès 1959, à l'élaboration de ce qui deviendra le langage **COBOL (Common Business-Oriented Language)**.

### Origine et Développement

La création de COBOL découle de la volonté d'établir un langage universel pour les applications de gestion, facilitant ainsi la programmation des tâches administratives et commerciales. Grace Hopper, déjà connue pour ses travaux sur le compilateur A-0, joue un rôle clé dans ce projet. Sous l'égide du **Département de la Défense des États-Unis (DoD)**, une conférence réunissant des experts issus d'entreprises telles qu'IBM, RCA et Remington Rand aboutit à la standardisation du langage. Le premier compilateur COBOL est opérationnel dès 1960, et rapidement adopté par les institutions publiques et les grandes entreprises pour automatiser leurs processus de gestion.

### Caractéristiques et Innovations

COBOL se distingue par sa syntaxe proche de l'anglais, facilitant la lecture et l'écriture des programmes par des non-spécialistes de l'informatique. Cette accessibilité permet une collaboration étroite entre les développeurs et les gestionnaires, réduisant les risques d'erreurs d'interprétation dans la traduction des besoins métiers en code. **Les principales caractéristiques de COBOL :**

- **Syntaxe lisible** : COBOL privilégie une approche narrative avec des mots-clés explicites comme ADD, SUBTRACT ou DISPLAY, rendant le code presque auto-documenté.
- **Portabilité et longévité** : Dès sa conception, COBOL est pensé pour fonctionner sur différentes machines, assurant une portabilité

sans précédent pour l'époque.

- **Orientation gestion** : Contrairement aux langages axés sur les calculs scientifiques, COBOL est spécifiquement adapté au traitement de fichiers, à la gestion de bases de données et aux opérations financières.

## Impact et Héritage

COBOL s'impose rapidement comme un standard dans les banques, les assurances et les administrations gouvernementales. Dans les années 1970, près de 80% des programmes utilisés dans le monde des affaires sont écrits en COBOL. Cette prédominance s'explique par la robustesse et la capacité du langage à traiter de grandes quantités de données de manière fiable. Malgré l'émergence de langages plus récents, COBOL continue d'être utilisé aujourd'hui, notamment pour maintenir des systèmes critiques existants. Les applications COBOL, bien que parfois perçues comme obsolètes, gèrent encore des milliards de transactions chaque jour, en particulier dans les secteurs financiers et de la santé.

### Exemple de code COBOL :

```
IDENTIFICATION DIVISION.
PROGRAM-ID. ADDITION-DEMO.

DATA DIVISION.
WORKING-STORAGE SECTION.
01 A      PIC 9(2) VALUE 10.
01 B      PIC 9(2) VALUE 20.
01 C      PIC 9(3).
```

```
PROCEDURE DIVISION.
COMPUTE C = A + B.
DISPLAY "Le résultat de l'addition est: " C.
STOP RUN.
```

Dans cet exemple :

- La DIVISION IDENTIFICATION déclare les sections principales du programme.
- DATA DIVISION initialise les variables utilisées.
- PROCEDURE DIVISION exécute l'addition et affiche le résultat.

COBOL, par sa simplicité et sa lisibilité, reste un témoin de la volonté d'universalité et de standardisation qui animait la programmation à la fin

des années 1950. Il incarne l'idée qu'un langage de programmation peut être un pont entre les besoins métier et les capacités techniques des ordinateurs.

## 7.3 Le BASIC et la programmation accessible

### Naissance du BASIC (1964)

Dans les années 1960, la programmation restait un domaine réservé aux ingénieurs et scientifiques utilisant des langages complexes comme Fortran ou Algol. Pourtant, un besoin croissant émergeait : rendre l'informatique plus accessible aux étudiants et aux non-spécialistes. C'est dans ce contexte que naît le **BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)** en 1964, au **Dartmouth College**, sous l'impulsion de **John Kemeny** et **Thomas Kurtz**. Le but de BASIC était simple : fournir un langage facile à apprendre, permettant à chacun de s'initier rapidement à la programmation sans avoir à maîtriser les subtilités de l'assembleur ou de Fortran. Cette approche démocratisait l'accès aux ordinateurs, qui étaient encore rares et coûteux.

### Philosophie et Caractéristiques

BASIC se distingue par sa **simplicité syntaxique** et sa **lisibilité**. Les commandes sont proches de l'anglais courant, facilitant ainsi la compréhension par des novices. Par exemple, une boucle pouvait s'écrire simplement avec **FOR... NEXT**, tandis qu'une condition s'exprime par **IF... THEN**. Cette logique intuitive permet de traduire des algorithmes directement en code exécutable. L'un des aspects novateurs du BASIC fut sa **nature interprétée**. Contrairement à des langages compilés<sup>1</sup> comme Fortran, BASIC permettait une exécution immédiate des instructions, offrant ainsi une boucle de rétroaction rapide entre l'écriture du code et son exécution. Cela facilitait l'expérimentation et l'apprentissage.

### Le Rôle du BASIC dans la Micro-Informatique

L'un des tournants majeurs pour BASIC se produit en 1975 avec l'apparition de l'**Altair 8800**, souvent considéré comme le premier micro-ordinateur accessible au grand public. Développé par la société MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems), cet ordinateur ne disposait initialement d'aucun langage utilisateur. C'est à ce moment que **Bill Gates**

---

1. Il faut préciser qu'à cette époque une compilation pouvait prendre plusieurs minutes.

et **Paul Allen**, voient l'opportunité de créer un langage simplifié pour cette nouvelle machine. En l'espace de quelques semaines, ils développent une version de BASIC adaptée à l'Altair. Ce projet marque la naissance de **Microsoft**, une entreprise alors inconnue opérant depuis un garage.

### Pourquoi BASIC s'impose rapidement :

- **Simplicité d'utilisation** : BASIC permet aux utilisateurs, même sans formation technique avancée, de créer des programmes interactifs dès les premières heures d'utilisation.
- **Environnement interactif** : L'interprétation directe des instructions réduit le temps entre l'écriture du code et son exécution, favorisant l'expérimentation.
- **Adaptabilité** : Microsoft BASIC devient la référence pour de nombreuses machines, y compris l'**Apple II**, le **TRS-80** de Tandy, et le **Commodore 64**. Chaque constructeur propose une version légèrement adaptée à son matériel.

Grâce à cette prolifération, BASIC devient rapidement le langage le plus répandu sur les micro-ordinateurs des années 1970 et 1980. Des générations entières de programmeurs font leurs premiers pas en informatique grâce à ce langage, contribuant ainsi à l'émergence d'une véritable culture de la programmation amateur.

### Un Langage Pionnier de l'Informatique Grand Public

L'impact de BASIC ne se limite pas aux passionnés et aux amateurs. Il joue également un rôle clé dans les écoles et les universités, où il est utilisé pour enseigner les bases de la programmation. Sa simplicité en fait l'outil idéal pour initier les étudiants aux concepts fondamentaux de l'algorithmique. En France, dans les années 1980, l'État lance une vaste initiative visant à intégrer l'informatique dans les écoles, collèges et lycées. Cette politique éducative, connue sous le nom de **Plan Informatique pour Tous** (PIPT), est mise en place en 1985. Elle permet l'introduction massives du MO5 et du TO7/70 dans les collèges et lycées et bibliothèques françaises ce qui représente un moment clé de la démocratisation de l'informatique en France et donc du BASIC qui équipait ces micro-ordinateur. Les premiers logiciels commerciaux pour micro-ordinateurs sont souvent écrits en BASIC, contribuant ainsi à la création d'un écosystème logiciel autour des machines personnelles. De nombreux outils de gestion, jeux et utilitaires voient le jour grâce à ce langage, consolidant sa place dans l'histoire de la micro-informatique.

## Exemple de Code BASIC

Voici un exemple de programme en BASIC permettant d'afficher les dix premiers carrés parfaits :

```
10 PRINT "Calcul des carrés parfaits"
20 FOR I = 1 TO 10
30 PRINT "Le carré de "; I; " est "; I*I
40 NEXT I
50 END
```

Dans cet exemple :

- La commande **PRINT** affiche du texte à l'écran.
- La boucle **FOR...NEXT** itère sur les nombres de 1 à 10.
- L'opération **I\*I** calcule le carré de chaque nombre.

## L’Influence durable du BASIC

Malgré la montée en puissance de langages plus sophistiqués dans les années 1980 et 1990, BASIC a laissé une empreinte durable. Il a non seulement introduit des millions de personnes à la programmation, mais il a également posé les bases pour le développement d'environnements comme **Visual Basic**, qui simplifiaient encore davantage la création d'applications interactives. Aujourd'hui, bien que BASIC soit moins utilisé, son héritage perdure à travers l'idée que la programmation doit être accessible à tous, indépendamment de la formation technique. L'esprit du BASIC continue de vivre dans des langages comme **Python**, qui privilégie la simplicité et l'interactivité.

## 7.4 La programmation structurée : Pascal, C

Dans les années 1960 et 1970, alors que les ordinateurs deviennent plus puissants et que les projets logiciels gagnent en complexité, les limites des premiers langages apparaissent clairement. La programmation non structurée (souvent basée sur des instructions de type **GOTO**) engendre des programmes difficiles à lire, maintenir et déboguer. Il devient évident qu'une meilleure organisation du code est nécessaire pour répondre aux besoins croissants de l'industrie du logiciel. C'est dans ce contexte que naît le concept de **programmation structurée**, une approche visant à organiser les programmes de manière plus logique et modulaire, réduisant ainsi les erreurs et facilitant la maintenance. Deux langages émergent comme emblématiques de cette nouvelle approche : **Pascal** et **C**.

## Le Pascal : Une École de Rigueur (1970)

Développé par **Niklaus Wirth** à l'Université de Zurich en 1970, **Pascal** est conçu avant tout comme un outil pédagogique pour enseigner la programmation structurée. Son objectif principal est de fournir un langage simple, clair et adapté à l'enseignement des bonnes pratiques de codage<sup>2</sup>

### Caractéristiques Clés de Pascal :

- **Structuration stricte** : Pascal impose une division rigoureuse du code en fonctions et procédures, encourageant ainsi la modularité.
- **Type fort** : Le contrôle strict des types de données aide à éviter de nombreuses erreurs de programmation.
- **Syntaxe claire** : Le langage est conçu pour être lisible, favorisant des programmes bien organisés et faciles à comprendre.

Pascal devient rapidement populaire dans les universités et lycées techniques, servant de langage d'introduction à la programmation. Il est également utilisé pour développer des applications commerciales, bien que son rôle principal reste l'enseignement.

### Exemple de Code en Pascal :

Voici un exemple simple de programme Pascal calculant la factorielle d'un nombre :

```
program Factorielle;
var
  n, i, resultat : integer;
begin
  resultat := 1;
  writeln('Entrez un nombre :');
  readln(n);
  for i := 1 to n do
    resultat := resultat * i;
  writeln('Factorielle de ', n, ' = ', resultat);
end.
```

Dans cet exemple :

- **FOR** permet de parcourir les entiers de 1 à **n**.

---

2. Le BASIC, en raison de son usage intensif des **GOTO**, est souvent considéré comme contraire aux principes de la programmation structurée, tels que prônés par Edsger Dijkstra.

- BEGIN... END délimite les blocs de code de manière explicite.
- WRITELN affiche le résultat à l'écran, simplifiant la communication avec l'utilisateur.

## C : La Programmation de bas niveau

Parallèlement, en 1972, **Dennis Ritchie**, aux Bell Labs, développe **C**, un langage conçu pour écrire des systèmes d'exploitation et des logiciels de bas niveau. Contrairement à Pascal, qui privilégie l'enseignement, C est destiné nativement à un usage professionnel<sup>3</sup>, notamment pour la programmation système.

### Pourquoi C s'impose rapidement :

- **Efficacité et Portabilité** : C permet d'écrire des programmes proches du matériel tout en étant portable sur différents systèmes.
- **Flexibilité** : Moins rigide que Pascal, il offre une plus grande liberté aux développeurs.
- **Simplicité du compilateur** : C est conçu pour produire du code machine optimisé avec des compilateurs légers et rapides.

C devient rapidement le langage de référence pour développer des systèmes d'exploitation, notamment **UNIX**, qui est en grande partie écrit en C. Ce langage constitue encore aujourd'hui la pierre angulaire de nombreux systèmes embarqués.

### Exemple de Code en C :

Ce programme en C calcule la somme des carrés de 1 à 10 :

```
#include <stdio.h>

int main() {
    int i, somme = 0;
    for(i = 1; i <= 10; i++) {
        somme += i * i;
    }
    printf("La somme des carres de 1 a 10 est : %d\n", somme);
    return 0;
}
```

---

3. Cependant, le langage C deviendra rapidement l'un des langages les plus enseignés dans les universités à vocation scientifique et technique, en raison de sa performance et de sa proximité avec le matériel.

Dans cet exemple :

- `#include <stdio.h>` permet d'utiliser la fonction `printf` pour afficher du texte à l'écran. Cela illustre un point fondamental du langage C : **il ne propose aucune fonction d'entrée/sortie dans son noyau**. Toute opération d'affichage doit passer par une bibliothèque externe, ici la Standard Input Output Library (`stdio.h`).
- La boucle `for` incrémente la variable `i` de 1 à 10 et ajoute à chaque itération le carré de `i` à la variable `somme`.
- Le programme est compact et efficace, caractéristique typique du langage C, conçu pour la performance et la proximité avec le matériel.

## Comparaison entre Pascal et C

Bien que partageant les mêmes principes de programmation structurée, Pascal et C se différencient par leurs usages :

- **Pascal** est strict, adapté à l'enseignement, et vise à inculquer des bonnes pratiques.
- **C** est plus flexible, utilisé pour des logiciels industriels et des systèmes d'exploitation.
- Pascal est interprété comme plus sûr, tandis que C est reconnu pour sa rapidité et son efficacité.

## Héritage et Impact

Les deux langages ont marqué l'histoire de la programmation. Pascal a formé des générations d'étudiants, tandis que C est devenu la base de nombreux autres langages modernes (C++, Java, Python). Aujourd'hui encore, ces deux langages sont enseignés dans certaines écoles, perpétuant l'héritage de la programmation structurée.

## 7.5 Vers une nouvelle Approche : La POO

Alors que la programmation structurée domine dans les années 1970, les logiciels deviennent de plus en plus complexes et difficiles à maintenir. Les limites des langages traditionnels apparaissent : les structures de données et les algorithmes restent souvent séparés, ce qui complique la gestion des grandes bases de code. La **Programmation Orientée Objet (POO)** émerge comme une réponse à ces problèmes. Elle propose de regrouper **données et fonctions associées** au sein de structures appelées **objets**.

Cette approche permet de modéliser des concepts du monde réel et favorise la réutilisation du code grâce à des principes comme l'*encapsulation*, l'*héritage* et le *polymorphisme*.

Trois langages illustrent particulièrement cette transition : **Prolog**, **Smalltalk** et **C++**.

### Prolog : Logique et Intelligence Artificielle (1972)

Développé en 1972 par **Alain Colmerauer** et **Philippe Roussel**, **Prolog (PROgrammation en LOGique)** se distingue comme l'un des premiers langages à introduire des concepts orientés objet, bien que son objectif initial soit différent. Prolog repose sur la \*\*programmation déclarative\*\* et s'oriente principalement vers la résolution de problèmes logiques et l'intelligence artificielle. Contrairement aux langages impératifs, Prolog permet de définir des faits et des règles, laissant le moteur d'inférence déterminer automatiquement les solutions aux problèmes posés.

#### Pourquoi Prolog est innovant :

- **Modélisation par règles** : Les objets et relations sont définis sous forme de faits et de règles logiques.
- **Traitements du langage naturel** : Prolog est utilisé dans les systèmes d'IA pour l'analyse syntaxique et sémantique.
- **Flexibilité** : Prolog permet de manipuler dynamiquement des structures de données complexes, approchant certaines caractéristiques de la programmation orientée objet.

#### Exemple simple en Prolog :

```
parent(albert, bob).
parent(bob, charlie).
grandparent(X, Y) :- parent(X, Z), parent(Z, Y).
```

Cet exemple définit des relations familiales et permet d'interroger la base de faits pour déterminer des grands-parents.

### ADA : Un pilier des systèmes critiques

*Ada Lovelace*, fille du poète *Lord Byron*, est considérée comme la première programmeuse de l'histoire. En hommage à son apport dans l'histoire de l'informatique, le langage Ada porte son nom.

Ada est un langage de programmation créé dans les années 1980<sup>4</sup> par une équipe dirigée par *Jean Ichbiah* au sein de CII-Honeywell Bull en France. Conçu principalement pour les applications critiques où la sûreté, la fiabilité et la maintenabilité sont essentielles, il a été développé en réponse à un appel d'offres du département de la Défense des États-Unis pour standardiser les systèmes embarqués.

À l'origine, Ada n'était pas un langage orienté objet. C'est avec la norme Ada 95<sup>5</sup> qu'il a intégré la programmation orientée objet (POO).

## Caractéristiques principales

Ada est un langage structuré et fortement typé, conçu pour garantir la sécurité des programmes. Parmi ses principales caractéristiques, on retrouve :

- Gestion stricte des types pour minimiser les erreurs d'exécution.
- Modularité avec l'utilisation de packages.
- Support natif de la concurrence via les tâches.
- Programmation **orientée objet** depuis la norme Ada 95.

## Exemple de Code en Ada :

Ce programme en Ada calcule la somme des carrés de 1 à 10 :

```
with Ada.Text_IO; use Ada.Text_IO;
with Ada.Integer_Text_IO; use Ada.Integer_Text_IO;

procedure Somme_Carres is
    Somme : Integer := 0;
begin
    for I in 1 .. 10 loop
        Somme := Somme + I * I;
    end loop;
    Put("La somme des carres de 1 a 10 est : ");
    Put(Somme);
    New_Line;
end Somme_Carres;
```

4. Le langage Ada trouve son origine dans un appel d'offres lancé en 1977 par le département de la Défense des États-Unis pour concevoir un langage unique destiné aux systèmes embarqués. En avril 1979, la proposition de *Jean Ichbiah* est retenue. Le langage est officiellement nommé « Ada » en mai 1979, en hommage à Ada Lovelace. La première version normalisée est publiée en 1980.

5. Ada 95 a été officiellement publiée en février 1995

Dans cet exemple :

- `with Ada.Text_IO; use Ada.Text_IO; et Ada.Integer_Text_IO` permettent d'accéder aux procédures d'entrée/sortie, en particulier `Put` pour l'affichage. Ada sépare rigoureusement les entrées/sorties par types.
- Le mot-clé `procedure` introduit un bloc autonome, ici nommé `Somme_Carres`, analogue à une fonction principale en C.
- La boucle `for I in 1 .. 10 loop` est une structure élégante d'Ada qui évite les erreurs de bornes. Elle est naturellement inclusive (1 à 10) et typée.
- Le programme reflète la rigueur syntaxique d'Ada, un langage conçu pour les systèmes critiques, qui impose une structure claire et une vérification stricte des types.

Ada occupe une place particulière dans l'histoire des langages de programmation en raison de sa vocation spécifique pour les systèmes critiques. Il marque un tournant dans la standardisation des langages pour les applications militaires et industrielles, notamment en Europe et aux États-Unis. Issu d'un besoin de rigueur et de sécurité, Ada est l'un des premiers langages à intégrer la programmation concurrente de manière native. Malgré une adoption limitée par rapport à des langages plus généralistes comme C ou Java, Ada reste incontournable dans l'aviation, le spatial et les systèmes embarqués où la sûreté est primordiale.

## Smalltalk : La Programmation Orientée Objet Pure (1980)

Développé par *Alan Kay* et son équipe au **Xerox PARC** dans les années 1970, **Smalltalk** est souvent considéré comme le premier véritable langage de programmation orientée objet. Contrairement à Prolog, Smalltalk adopte une approche **100% orientée objet**, où tout, y compris les nombres et les classes, est un objet.

### Caractéristiques de Smalltalk :

- **Pureté du paradigme objet** : Smalltalk repose entièrement sur des objets interagissant entre eux par envoi de messages.
- **Environnement interactif** : Smalltalk introduit l'idée d'un environnement de développement interactif, influençant des langages comme Python et Java.
- **Modularité et extensibilité** : La réutilisation du code est au cœur du langage, favorisant l'encapsulation et l'héritage.

### Exemple de code Smalltalk :

```
Object subclass: #Animal
  instanceVariableNames: 'nom'
  classVariableNames: ''
  poolDictionaries: ''
  category: 'Exemples'.

Animal >> setNom: aNom
  nom := aNom.

Animal >> afficherNom
  Transcript show: nom; cr.
```

Cet extrait illustre la création d'une classe `Animal` avec des méthodes pour définir et afficher son nom.

### C++ : La Fusion de la Performance et des Objets (1983)

Développé par *Bjarne Stroustrup* en 1983, C++ est une extension du langage C, conçue pour intégrer des fonctionnalités de programmation orientée objet tout en préservant la performance et l'efficacité du langage d'origine.

C++ a rapidement été adopté dans des projets industriels exigeants, combinant un accès de bas niveau aux ressources système (notamment via la gestion fine de la mémoire) avec des mécanismes d'abstraction avancés, tels que les classes, l'héritage et le polymorphisme.

### Caractéristiques de C++ :

- **Double paradigme** : C++ permet de combiner la programmation orientée objet avec la programmation procédurale traditionnelle.
- **Performance** : Contrairement à Smalltalk, C++ est compilé, offrant des performances élevées adaptées aux systèmes embarqués et aux jeux vidéo.
- **Contrôle total** : C++ autorise la manipulation directe de la mémoire, ce qui le rend adapté au développement système.

### Exemple simple de classe en C++ :

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```

class Animal {
private:
    string nom;

public:
    void setNom(string aNom) {
        nom = aNom;
    }

    void afficherNom() {
        cout << "Nom de l'animal : " << nom << endl;
    }
};

int main() {
    Animal chien;
    chien.setNom("Rex");
    chien.afficherNom();
    return 0;
}

```

Dans cet exemple :

- `#include <iostream>` permet d'utiliser les flux d'entrée/sortie standard, notamment `cout` pour afficher à l'écran.
- La classe `Animal` contient un attribut privé `nom`, et deux méthodes publiques : `setNom` pour affecter une valeur, et `afficherNom` pour l'afficher.
- La fonction `main()` instancie un objet `chien`, lui donne un nom avec `setNom`, puis affiche ce nom avec `afficherNom`.
- Ce programme illustre les fondements de la programmation orientée objet en C++ : encapsulation, méthodes, et manipulation d'objets.

## Comparaison et Héritage

- **Prolog** introduit la logique déclarative et influence le développement de systèmes experts.
- **Smalltalk** incarne l'essence de la programmation orientée objet pure, jetant les bases des environnements interactifs modernes.
- **C++** combine la flexibilité des objets avec la performance de C, devenant un pilier du développement industriel.

La programmation orientée objet continue d'évoluer aujourd'hui à tra-

vers des langages comme **Java**, **C#**, et **Python**, qui tirent directement leurs concepts de ces pionniers.

## 7.6 Premiers langages pour l'IA

### L'Essor de l'Intelligence Artificielle et la Naissance de Nouveaux Langages

Les débuts de l'intelligence artificielle (IA) dans les années 1950 posent rapidement des défis uniques aux programmeurs. Les langages classiques comme Fortran ou C, conçus pour des calculs numériques et la gestion système, montrent leurs limites lorsqu'il s'agit de manipuler des concepts abstraits, de traiter des règles complexes ou de gérer des structures de données dynamiques. Face à ces nouvelles exigences, des langages spécialisés voient le jour, conçus pour refléter la nature symbolique de l'IA. Deux langages dominent les premiers travaux en IA : **Lisp**, introduit par John McCarthy, et **Prolog**, développé en France dans les années 1970. —

### Lisp : Le Pilier de l'Intelligence Artificielle (1958)

Développé par **John McCarthy** en 1958 au Massachusetts Institute of Technology (MIT), **Lisp** — pour *LISt Processing* — est l'un des plus anciens langages de programmation encore utilisés aujourd'hui. Il est conçu initialement comme un outil destiné à explorer les mécanismes du raisonnement symbolique et les bases formelles de l'intelligence artificielle, dans un contexte universitaire en pleine effervescence scientifique.

Lisp repose sur des fondations mathématiques solides, issues du *lambda-calcul* et des fonctions récursives, ce qui en fait un langage fonctionnel dès sa naissance. Sa syntaxe uniforme — les fameuses expressions préfixées entre parenthèses — permet une grande flexibilité, notamment en facilitant la manipulation du code comme donnée (principe de *homoiconicité*). Les listes, structures de données dynamiques et extensibles, sont au cœur de son fonctionnement, et donnent au langage son nom même.

Grâce à ces caractéristiques, Lisp devient rapidement le langage de choix pour la recherche en intelligence artificielle dès les années 1960. Il favorise l'expérimentation de concepts comme l'apprentissage, la représentation des connaissances, l'inférence logique et la programmation déclarative. De nombreuses variantes en découlent, dont **MacLisp**, **Common Lisp**, **Scheme**, et plus récemment **Clojure**. Sa capacité à évoluer tout en conservant ses principes fondamentaux fait de Lisp un langage à la fois historique et toujours pertinent dans certains domaines avancés.

## Pourquoi Lisp est révolutionnaire :

- **Manipulation symbolique** : Contrairement à Fortran, Lisp permet de manipuler des symboles, facilitant le traitement du langage naturel et des expressions mathématiques.
- **Récursivité native** : Lisp introduit la récursivité comme mécanisme central, idéal pour des algorithmes de recherche et des structures arborescentes.
- **Programmation dynamique** : Les programmes Lisp peuvent s'auto-modifier, une caractéristique cruciale pour les systèmes d'apprentissage automatique et les agents intelligents.

## Exemple simple en Lisp : Calcul Factoriel

```
(defun factorielle (n)
  (if (= n 0)
    1
    (* n (factorielle (- n 1)))))
```

Dans cet exemple :

- `defun` permet de définir une fonction nommée ici `factorielle`, prenant un paramètre `n`.
- L'instruction `if` est une expression conditionnelle : si `n` vaut 0, le résultat est 1 (cas de base).
- Sinon, on retourne `n` multiplié par `factorielle(n - 1)`, ce qui correspond à l'appel récursif.
- L'écriture en préfixe (opérateur placé en premier) est typique de Lisp : par exemple `(* n m)` au lieu de `n * m`.

## Prolog : Logique et Résolution de Problèmes (1972)

Si Lisp repose sur des listes et des fonctions récursives, **Prolog (PROgrammation en LOGique)** adopte une approche radicalement différente, inspirée de la logique mathématique et du raisonnement automatique. Développé en 1972 par **Alain Colmerauer** et **Philippe Roussel** à Marseille, Prolog s'impose rapidement dans les domaines de l'intelligence artificielle, notamment pour la création de systèmes experts et le traitement du langage naturel.

## Les points clés de Prolog :

- **Programmation déclarative** : L'utilisateur se contente de décrire les relations et les règles logiques, laissant à l'interpréteur le soin de

résoudre les problèmes.

- **Manipulation de faits et règles** : Prolog est idéal pour la gestion de bases de connaissances et la représentation des connaissances.
- **Simplicité dans la modélisation du raisonnement** : Prolog excelle dans la modélisation de problèmes complexes comme les puzzles ou les raisonnements par inférence.

### Exemple simple en Prolog : Filiation familiale

```
parent(albert, bob).
parent(bob, charlie).

grandparent(X, Y) :- parent(X, Z), parent(Z, Y).
```

### Comparaison et Héritage des Premiers Langages d'IA

- **Lisp** reste le langage dominant pour les projets d'IA symbolique et les systèmes experts.
- **Prolog** excelle dans les domaines nécessitant des raisonnements logiques, comme les systèmes experts et les moteurs de règles.
- **Smalltalk** influence indirectement l'IA en favorisant l'essor de la programmation interactive et orientée objet.

### Pourquoi ces langages restent pertinents :

Aujourd'hui, bien que des langages modernes comme **Python** dominent l'IA, Lisp et Prolog continuent d'être utilisés dans des domaines de niche, tandis que Smalltalk laisse une empreinte durable sur les environnements de développement modernes. Ces langages ont posé les bases des approches modernes en intelligence artificielle et inspiré la création de nombreux outils et frameworks contemporains.

## 7.7 Les langages modernes et la programmation d'aujourd'hui

### L'évolution vers des langages polyvalents et accessibles

À partir des années 1990, l'informatique entre dans une nouvelle ère, marquée par la montée en puissance d'Internet, du développement logiciel rapide (RAD), et des systèmes embarqués. La nécessité d'avoir des langages plus **flexibles, lisibles et adaptés à des domaines variés** s'impose. Les langages modernes se caractérisent par plusieurs tendances majeures :

- **Simplicité syntaxique et lisibilité** (ex : Python, Ruby)
- **Portabilité et compatibilité multiplateforme** (ex : Java)
- **Performance et sécurité mémoire** (ex : Rust, Go)
- **Modularité et orientation objet** (ex : JavaScript, C#)
- **Langages interprétés et scripts** permettant des développements rapides (ex : Python, PHP)

## Python : Le Langage Polyvalent (1991)

Développé par **Guido van Rossum** en 1991, **Python** est rapidement devenu un langage incontournable grâce à sa simplicité et sa lisibilité.

### Pourquoi Python s'impose :

- **Syntaxe claire et concise** : Python privilégie une écriture simple, permettant aux développeurs de se concentrer sur les problèmes à résoudre plutôt que sur la syntaxe.
- **Polyvalence** : Utilisé aussi bien pour l'intelligence artificielle, le développement web, les scripts d'automatisation ou la science des données.
- **Communauté et écosystème** : Une vaste bibliothèque standard et des milliers de modules tiers facilitent l'ajout de fonctionnalités complexes.

### Exemple simple en Python :

```
def factorielle(n):  
    return 1 if n == 0 else n * factorielle(n - 1)  
  
print(factorielle(5))
```

Dans cet exemple :

- La fonction `factorielle(n)` est définie de manière récursive. Elle retourne 1 si `n` est égal à 0 (cas de base), sinon elle retourne `n * factorielle(n - 1)`.
- L'instruction `print(factorielle(5))` appelle la fonction avec l'argument 5 et affiche le résultat.
- L'usage de l'expression `a if condition else b` correspond à une forme compacte du `if/else`.

## Java : L’Ubiquité du *Write Once, Run Anywhere* (1995)

Créé par **James Gosling** chez Sun Microsystems en 1995, **Java** repose sur le principe du *Write Once, Run Anywhere (WORA)*. Il permet de créer des applications multiplateformes, largement adoptées dans les entreprises et sur Android.

### Les forces de Java :

- **Portabilité** : Grâce à la machine virtuelle Java (JVM), un programme Java s’exécute sur n’importe quelle machine disposant de la JVM.
- **Sécurité et robustesse** : Le modèle de gestion mémoire de Java minimise les erreurs critiques, renforçant la sécurité.
- **Orientation objet stricte** : Java est conçu dès le départ comme un langage orienté objet, facilitant la conception de systèmes complexes.

### Exemple de code Java :

```
public class Factorielle
{
    public static int calcul(int n)
    {
        return (n == 0) ? 1 : n * calcul(n - 1);
    }
    public static void main(String[] args)
    {
        System.out.println("Factorielle de 5 : " + calcul(5));
    }
}
```

Dans cet exemple :

- La méthode `calcul` est une fonction récursive qui retourne 1 si `n == 0`, sinon elle retourne `n * calcul(n - 1)`.
- Le point d’entrée `main` appelle `calcul(5)` et affiche le résultat avec `System.out.println`.
- L’opérateur conditionnel `? :` permet d’écrire une condition compacte.

## JavaScript : La Révolution du Web (1995)

Initialement développé en 10 jours par **Brendan Eich** chez Netscape en 1995, **JavaScript** est aujourd’hui le langage dominant du développement web.

## Pourquoi JavaScript est essentiel :

- **Interactivité web** : JavaScript permet de dynamiser les pages web, ajoutant des interactions client-serveur en temps réel.
- **Portée universelle** : Présent nativement dans tous les navigateurs web, JavaScript est utilisé par des millions de sites.
- **Frameworks modernes** : Des outils comme **React**, **Vue.js** ont renforcé son rôle dans le développement d'applications front-end.

## Exemple simple en JavaScript :

```
function factorielle(n) {
    return (n === 0) ? 1 : n * factorielle(n - 1);
}
console.log("Factorielle de 5 : " + factorielle(5));
```

Dans cet exemple :

- La fonction `factorielle(n)` utilise la récursion pour calculer la factorielle. Elle renvoie 1 si `n === 0`, sinon elle appelle elle-même avec `n - 1`.
- L'opérateur `? :` est un opérateur ternaire (conditionnelle courte).
- `console.log` permet d'afficher le résultat dans la console du navigateur ou de l'environnement Node.js.

## Rust : La Sécurité et la Performance (2010)

Lancé par **Mozilla** en 2010, **Rust** est un langage compilé conçu pour offrir des performances comparables à celles de C et C++, tout en éliminant les classes d'erreurs liées à la gestion mémoire. Sa principale innovation réside dans son **modèle de propriété** et son système de **vérification à la compilation**, qui empêchent les accès concurrents non sécurisés, les fuites mémoire ou les usages après libération (*use-after-free*) — sans avoir recours à un ramasse-miettes (garbage collector).

Rust permet ainsi d'écrire du code **sûr par construction**, sans compromettre l'efficacité. Il est particulièrement prisé dans les domaines où la fiabilité et la performance sont critiques : systèmes embarqués, moteurs de jeu, navigateurs, ou encore projets d'infrastructure réseau.

## Caractéristiques majeures :

- **Sécurité** mémoire sans ramasse-miettes (GC).
- Performance équivalente à C++.
- Parfait pour les **systèmes critiques et embarqués**.

## Exemple simple en Rust :

```
fn factorielle(n: u32) -> u32 {
    if n == 0 {
        1
    } else {
        n * factorielle(n - 1)
    }
}
```

Dans cet exemple :

- La fonction **factorielle** prend un entier non signé **u32** et retourne un **u32**. Elle est définie de manière récursive.
- La condition **if n == 0** traite le cas de base (factorielle de 0 = 1).
- L'instruction **println!** est un macro Rust pour afficher du texte, avec **{}** comme espace réservé à la valeur.

## Les langages d'aujourd'hui et de demain

Les langages modernes ne se contentent pas de remplacer leurs prédecesseurs, ils s'inscrivent dans une logique d'optimisation continue. De nouveaux paradigmes apparaissent, allant de la programmation fonctionnelle (Scala, Haskell) à des langages hybrides capables de répondre aux défis du **Big Data, de l'IA et du cloud computing**. Aujourd'hui, la tendance s'oriente vers des langages :

- **Expressifs et sécurisés** (Rust, Kotlin)
- **Interprétés et réactifs** (Python, JavaScript)
- **Conçus pour le web** (TypeScript, Dart)

Ces langages façonnent l'avenir de la programmation, rendant le développement plus accessible et performant tout en répondant aux exigences croissantes des technologies émergentes.

## CHAPITRE 8

### LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION

*Les systèmes d'exploitation ont joué un rôle essentiel dans la manière dont nous interagissons avec les machines depuis des décennies. Ces programmes souvent invisibles pour l'utilisateur, gèrent l'utilisation des ressources matérielles et logicielles, transformant des machines brutes en outils interactifs et puissants. Ce chapitre vous invite à un voyage à travers l'histoire fascinante des systèmes d'exploitation, en explorant leurs origines, leurs évolutions et leurs révolutions. Du légendaire Unix aux interfaces modernes comme Mac OS/X, Windows et Android, découvrez comment ces logiciels ont façonné notre rapport aux technologies et continuent de jouer un rôle central dans notre quotidien numérique.*

## 8.1 Qu'est-ce qu'un système d'exploitation ?

Avant l'apparition des systèmes d'exploitation (OS), l'utilisation des ordinateurs nécessitait une interaction directe avec le matériel. Les programmeurs devaient écrire des instructions en langage machine, composées de suites de 0 et de 1, spécifiques à chaque architecture matérielle. Cette programmation bas niveau était non seulement complexe, mais aussi sujette à de nombreuses erreurs, rendant le développement logiciel long et laborieux.

Les données et les programmes étaient souvent introduits dans les ordinateurs via des cartes perforées ou des bandes magnétiques. Ce processus, appelé traitement par lots, impliquait que les opérateurs préparent des lots de tâches à exécuter séquentiellement, sans interaction en temps réel avec l'utilisateur. Cette méthode manquait de flexibilité et ne permettait pas une utilisation optimale des ressources matérielles.

### Le rôle des systèmes d'exploitation

L'introduction des systèmes d'exploitation dans les années 1960 a révolutionné cette dynamique. Un OS agit comme un intermédiaire entre le matériel et les logiciels applicatifs, offrant une interface conviviale pour les utilisateurs et les développeurs. Il gère efficacement les ressources de l'ordinateur, telles que le processeur, la mémoire et les périphériques, permettant l'exécution simultanée de plusieurs programmes et la gestion des processus en multitâche.

Les systèmes d'exploitation ont également introduit des systèmes de fichiers hiérarchiques, facilitant le stockage, l'organisation et la récupération des données. De plus, ils ont permis le développement d'interfaces utilisateur plus intuitives, passant des lignes de commande aux interfaces graphiques, rendant l'informatique accessible à un public plus large.

### Interaction entre les langages de programmation et les systèmes d'exploitation

Les systèmes d'exploitation et les langages de programmation sont interdépendants. Les OS fournissent les services et l'environnement nécessaires à l'exécution des programmes, tandis que les langages de programmation permettent de développer des logiciels qui exploitent ces services pour accomplir des tâches spécifiques. Cette synergie est au cœur du fonctionnement des systèmes informatiques modernes.

## 8.2 Les premiers systèmes d'exploitation

### GM-NAA I/O (1956)

Le GM-NAA I/O (General Motors and North American Aviation Input/Output system) est reconnu comme le premier système d'exploitation de l'histoire de l'informatique. Développé en 1956 par *Robert L. Patrick* des laboratoires de recherche de General Motors et Owen Mock de North American Aviation pour l'ordinateur IBM 704, il s'appuyait sur un programme similaire conçu en 1955 pour l'IBM 701.

Conçu pour l'ordinateur IBM 704 (voir page 81), il se distingue par sa capacité à automatiser la gestion des entrées/sorties, ce qui représente un bond en avant par rapport aux systèmes entièrement manuels de l'époque.

Ce système avait pour objectif de simplifier les opérations complexes de traitement des données en introduisant des routines standardisées pour la gestion des périphériques. Grâce au GM-NAA I/O, les chercheurs et ingénieurs pouvaient consacrer davantage de temps aux calculs scientifiques eux-mêmes, en laissant à la machine le soin d'assurer les tâches de lecture et d'écriture sur bande magnétique et sur d'autres supports.

Bien que limité aux tâches spécifiques de calcul scientifique, le GM-NAA I/O a contribué à poser les fondations des systèmes d'exploitation modernes en montrant l'intérêt d'automatiser les opérations d'entrée/sortie.

### CTSS (1961)

Le Compatible Time-Sharing System (CTSS), développé en 1961 au Massachusetts Institute of Technology (MIT), est un jalon crucial dans l'histoire des systèmes d'exploitation. À cette époque, l'usage des ordinateurs était essentiellement séquentiel : chaque utilisateur devait attendre son tour pour accéder à la machine. Cette approche, bien que fonctionnelle pour les traitements par lots, limitait considérablement l'efficacité des centres de calcul.

Le CTSS, sous la direction de *Fernando Corbató*, a introduit le concept révolutionnaire de temps partagé. En permettant à plusieurs utilisateurs de travailler simultanément sur un même ordinateur central (l'IBM 7090<sup>1</sup>), il répondait à la problématique du temps d'attente et de la sous-utilisation des ressources. Le système découpaient le temps de calcul en tranches allouées à chaque utilisateur, optimisant ainsi l'occupation de la machine.

Ce système introduisait également des fonctionnalités inédites pour l'époque : la gestion des fichiers personnels, l'interruption et la reprise des

---

1. Voir page 84

processus, ainsi que la connexion à distance via des terminaux. Ces innovations répondaient aux besoins croissants de flexibilité et de productivité dans les milieux universitaires et scientifiques.

On le voit le CTSS marque un tournant en introduisant des concepts encore utilisés dans les environnements modernes, faisant de lui un précurseur dans l'informatique interactive.

## **OS/360 d'IBM (1964)**

En 1964, IBM a introduit le System/360 (voir page 89), une famille d'ordinateurs destinée à unifier ses différentes gammes de produits. Pour accompagner cette innovation matérielle, IBM a développé l'Operating System/360 (OS/360), un système d'exploitation conçu pour exploiter pleinement les capacités du System/360.

Avant l'avènement de l'OS/360, les systèmes d'exploitation étaient souvent spécifiques à un modèle d'ordinateur, ce qui rendait la portabilité des logiciels difficile et limitait l'évolutivité des systèmes. L'OS/360 a introduit une architecture logicielle standardisée, permettant aux applications de fonctionner sur différents modèles de la gamme System/360 sans nécessiter de modifications majeures. Cette approche a considérablement amélioré la flexibilité et l'efficacité des opérations informatiques.

L'OS/360 a également été parmi les premiers systèmes d'exploitation à exiger l'utilisation de dispositifs de stockage à accès direct, tels que les disques durs, pour son fonctionnement. Cette exigence a permis une gestion plus efficace des ressources et une meilleure performance des systèmes informatiques.

Malgré sa complexité et les défis rencontrés lors de son développement, l'OS/360 a introduit des concepts tels que la multiprogrammation, la gestion des ressources partagées et une interface standardisée pour les applications.

## **8.3 L'avènement des OS**

### **Le système d'exploitation Unix - (1969)**

Tout part d'un projet de créer un nouveau système d'exploitation en temps-partagé. C'est le projet *Multics*, lancé en 1964 par le MIT, les laboratoires Bell d'AT&T et General Electric.

Mais le projet est trop ambitieux et prend trop de temps. Aussi Bell abandonne le projet en 1969 et demande à son équipe ayant travaillé sur

Multics d'élaborer un autre OS plus modeste mais tout de même multi-utilisateurs et multitâches ça sera **UNIX**.

**Unix** est un système d'exploitation multitâche et multi-utilisateur développé en 1969 aux Bell Labs par *Ken Thompson* et *Dennis Ritchie*. Initialement conçu pour le mini-ordinateur PDP-7, il a été réécrit en langage C, ce qui a grandement facilité sa portabilité sur différentes machines. Une anecdote intéressante : le nom *Unix* est un jeu de mots avec *Multics*, le projet antérieur plus complexe ; *Unix* se voulait une version simplifiée, d'où son nom. De plus, la philosophie d'*Unix* repose sur l'utilisation de petits programmes accomplissant chacun une tâche spécifique, pouvant être combinés pour réaliser des opérations complexes. Cette approche modulaire a influencé de nombreux systèmes modernes, notamment *Linux* et *macOS*.

## Le système d'exploitation CP/M - (1974)

**CP/M** (Control Program for Microcomputers) est un système d'exploitation créé en 1974 par *Gary Kildall* de Digital Research. Conçu initialement pour les micro-ordinateurs équipés de processeurs Intel 8080 et Zilog Z80, il est rapidement devenu un standard pour les machines des années 1970 et 1980.

Alan Sugar, fondateur d'Amstrad, a intégré CP/M dans les séries CPC et PCW de ses ordinateurs pour plusieurs raisons stratégiques. CP/M disposait d'une vaste bibliothèque de logiciels professionnels et éducatifs, permettant aux utilisateurs d'Amstrad d'accéder immédiatement à ces applications. En adoptant un système d'exploitation éprouvé, Amstrad a pu limiter les dépenses liées au développement logiciel, proposant ainsi des ordinateurs à des prix compétitifs.

Anecdote intéressante : CP/M a inspiré de nombreuses commandes et concepts repris plus tard dans MS-DOS, notamment les commandes DIR et TYPE, ainsi que les extensions de fichiers comme .EXE et .TXT. De plus, CP/M était divisé en trois parties : le BIOS (Basic Input/Output System), le BDOS (Basic Disk Operating System) et le CCP (Console Command Processor), une architecture qui a influencé la conception de futurs systèmes d'exploitation. Il sera supplanté par MS-DOS avec l'avènement de l'IBM PC, CP/M a joué un rôle crucial dans la standardisation des logiciels pour micro-ordinateurs et demeure une référence importante.

## Le DOS - (1981)

**DOS** (Disk Operating System) est un système d'exploitation en ligne de commande développé par Microsoft en 1981 pour l'IBM PC. Son origine remonte au *QDOS* (*Quick and Dirty Operating System*), un système

conçu par Tim Paterson de Seattle Computer Products (SCP) pour les processeurs Intel 8086. Microsoft, anticipant l'importance stratégique d'un tel système, acquit une licence non exclusive de QDOS en décembre 1980 pour 25 000 dollars, puis en acheta tous les droits en juillet 1981 pour 50 000 dollars supplémentaires. Le système fut ensuite adapté et renommé MS-DOS, puis licencié à IBM pour équiper son premier PC sous le nom de PC-DOS.

L'obtention de ce contrat par Microsoft est le résultat d'une série d'événements significatifs. Initialement, IBM envisageait d'utiliser le système *CP/M*. Cependant, les négociations entre IBM et Digital Research échouèrent, notamment en raison de désaccords sur les termes de confidentialité et les modalités de licence. Face à cette impasse, IBM se tourna vers Microsoft, qui proposa alors le MS-DOS comme alternative viable.

Une anecdote notable illustre l'importance de ce partenariat : lors des négociations, IBM s'attendait à ce que Microsoft demande une somme forfaitaire conséquente ou des redevances par copie vendue. Cependant, Microsoft négocia le droit de vendre MS-DOS à d'autres fabricants, ce qui s'avéra être une décision stratégique majeure, contribuant à l'essor de l'entreprise et à la standardisation de MS-DOS sur les compatibles IBM PC.

DOS a joué un rôle crucial dans la popularisation des ordinateurs personnels dans les années 1980 et 1990. Il a servi de base à de nombreux logiciels de l'époque. Des systèmes compatibles tels que FreeDOS continuent d'exister. Fait intéressant, certaines versions de Windows, jusqu'à Windows 95, reposaient encore sur une couche MS-DOS pour fonctionner.

## Le système d'exploitation OS/2 - (1987)

**OS/2**, développé conjointement par IBM et Microsoft à partir de 1987, visait à succéder au MS-DOS en offrant un environnement multitâche et une interface graphique avancée. Cependant, des divergences stratégiques ont conduit Microsoft à se concentrer sur Windows, laissant IBM poursuivre seul le développement d'OS/2. Malgré des fonctionnalités innovantes, OS/2 n'a pas réussi à s'imposer face à Windows, en partie en raison de la domination de Microsoft sur le marché des systèmes d'exploitation. Une anecdote notable : OS/2 était initialement destiné à la gamme IBM Personal System/2, d'où son nom. Bien qu'IBM ait cessé son support en 2006, des communautés dédiées continuent de maintenir des versions dérivées, témoignant de l'impact durable d'OS/2.

## 8.4 Les systèmes graphiques (1990-2000)

### Passage de la ligne de commande au GUI

Les premiers ordinateurs personnels des années 1970 et début 1980 étaient pilotés exclusivement par des interfaces en ligne de commande. L'utilisateur devait taper des instructions textuelles précises, ce qui nécessitait un apprentissage laborieux et une mémorisation de commandes souvent ésoptériques. Si ce mode d'interaction offrait une grande maîtrise aux experts, il rebutait le grand public.

Dans les années 1970, le centre de recherche Xerox PARC (Palo Alto Research Center) développe des idées novatrices. En **1973**, Xerox dévoile l'ordinateur *Alto*, véritable poste de travail expérimental révolutionnaire. L'*Alto* est le premier système à proposer une interface entièrement graphique fondée sur la métaphore du bureau : l'écran bitmap affiche des *fenêtres* qui peuvent se chevaucher, des icônes symbolisant des documents ou dossiers, des menus déroulants et un curseur piloté par une souris. Bien que l'*Alto* ne soit pas commercialisé (il sert uniquement en interne chez Xerox et dans quelques universités), il prouve la faisabilité technique du GUI et introduit la notion de « métaphore du bureau » qui deviendra centrale par la suite. En 1981, Xerox tente de commercialiser ces avancées avec la station *STAR* – le premier système commercial à interface graphique inspiré de l'*Alto* – mais son coût prohibitif (plus de 16 000 \$) limite sa diffusion aux entreprises et annonce un échec commercial relatif.

Le véritable tournant vers les interfaces graphiques grand public est impulsé par **Apple**. Séduit par le potentiel de cette technologie, Steve JOBS organise en décembre 1979 une visite du Xerox PARC pour y voir les innovations de l'*Alto*. La démonstration à laquelle il assiste le convainc instantanément que l'avenir de l'informatique personnelle passe par ce type d'interface visuelle<sup>2</sup>

À la suite d'Apple, l'ensemble de l'industrie embrasse progressivement cette transition. Microsoft, jusqu'alors éditeur du système MS-DOS en mode texte pour compatibles IBM PC, développe sa propre interface graphique. D'autres systèmes adoptent également des GUI, comme l'*Amiga* de Commodore dès 1985 ou l'*Atari ST* la même année, montrant que même les machines familiales ou ludiques peuvent bénéficier d'un environnement visuel intuitif. En moins de dix ans, le paradigme de l'interface graphique

2. Lors de la visite de l'équipe d'Apple en 1979, les chercheurs de Xerox présentèrent l'environnement Smalltalk sur Alto. Steve Jobs, fasciné, s'étonna que Xerox n'exploite pas commercialement ces trouvailles. Il déclara que tous les ordinateurs devraient fonctionner de la sorte et entreprit de les diffuser au grand public via Apple.

est devenu la norme. Cette transition du texte au graphique a constitué une révolution de l’interaction homme-machine : elle a largement démocratisé l’usage de l’informatique en la rendant accessible à tous, y compris aux non-spécialistes.

## Mac OS - (1984)

En janvier 1984, Apple lance le Macintosh fortement inspiré par l’Alto, accompagné de son système d’exploitation graphique intégré, plus tard connu sous le nom de *Mac OS*. À cette époque, il est simplement désigné par « Système » (par exemple, « System 1.0 » pour la première version). C’est le premier système d’exploitation graphique complet destiné au grand public.

Le **Mac OS** se distingue par son *interface utilisateur* graphique et conviviale. Contrairement aux interfaces textuelles classiques, il propose un bureau graphique où les icônes symbolisent des fichiers, des dossiers et des périphériques. La navigation se fait par souris, offrant une interaction directe et intuitive. Parmi les innovations marquantes, citons la barre de menus contextuelle et la corbeille pour supprimer des fichiers.

D’un point de vue technique, le Mac OS de 1984 est initialement monotâche, en raison des ressources limitées du Macintosh 128K. Cependant, dès 1987, Apple introduit le multitâche coopératif avec *MultiFinder*, permettant l’exécution simultanée de plusieurs programmes. Néanmoins, ce type de multitâche requiert que les applications se cèdent mutuellement le processeur, ce qui peut provoquer des blocages si une application ne libère pas la main<sup>3</sup>.

Au-delà des avancées techniques, Mac OS a marqué les esprits par sa conception soignée et ses choix ergonomiques, souvent attribués à l’équipe de Steve JOBS. Une anecdote célèbre illustre cette philosophie : les signatures des membres de l’équipe Macintosh sont gravées à l’intérieur du boîtier du premier modèle<sup>4</sup>.

Mac OS a durablement influencé le développement des interfaces graphiques modernes et popularisé l’usage de l’ordinateur auprès du grand public. Grâce à lui, l’informatique personnelle est entrée dans l’ère de la convivialité et de l’intuition.

---

3. Le multitâche préemptif, où le système gère la répartition des tâches, apparaîtra sur Mac OS X en 2001.

4. Une décision de Steve Jobs pour symboliser l’importance de l’implication personnelle dans un projet visionnaire.

## Windows 1.0 - (1985)

La première version graphique du système d'exploitation de Microsoft est **Windows 1.0**, lancée le 20 novembre 1985. Ce logiciel servait d'interface graphique fonctionnant au-dessus de MS-DOS, permettant aux utilisateurs d'interagir avec leur ordinateur via des fenêtres, des icônes et une souris, plutôt que par des commandes textuelles. L'objectif était de rendre l'informatique personnelle plus accessible et intuitive, en facilitant l'usage des ordinateurs pour le grand public.

Avant le développement de Windows 1.0, Microsoft avait collaboré avec Apple pour créer des applications destinées au *Macintosh*, qui possédait déjà une interface graphique avancée. Durant ces collaborations, Microsoft obtint une licence sur certains aspects de l'interface du Macintosh. Cependant, avec la sortie de **Windows 2.0** en 1987, qui introduisait des fonctionnalités similaires à celles du Macintosh, Apple intenta une action en justice contre Microsoft en 1988, l'accusant de violation de droits d'auteur.

Ce litige, connu sous le nom de **Apple Computer, Inc. v. Microsoft Corp.**, s'est prolongé jusqu'en 1994. La cour a statué que les éléments de l'interface graphique revendiqués par Apple n'étaient pas protégés par le droit d'auteur, notamment parce que Microsoft avait obtenu une licence pour certains de ces éléments. Cette décision a établi un précédent concernant la protection des interfaces graphiques par le droit d'auteur.

Ce conflit illustre la concurrence intense et les débats juridiques entourant l'innovation technologique dans les années 1980, période durant laquelle les interfaces graphiques ont révolutionné l'interaction homme-machine. La victoire de Microsoft a consolidé sa position sur le marché des systèmes d'exploitation graphiques, contribuant à l'adoption massive des environnements Windows dans les années suivantes.

Le succès de Windows 1.0 fut limité, mais il posa les bases des versions futures. En 1995, Windows 95 marqua un tournant majeur avec une interface repensée, introduisant le menu Démarrer et la barre des tâches, tout en intégrant la gestion native du multitâche préemptif pour les applications 32 bits. Cette version est souvent perçue comme l'élément déclencheur de la popularisation massive des PC.

Windows XP, lancé en 2001, unifia les familles de systèmes basés sur MS-DOS et Windows NT, offrant une stabilité accrue et une interface modernisée. Il introduisit également la prise en charge des thèmes visuels, un centre d'aide unifié et des fonctionnalités réseau améliorées, en faisant un standard pour les environnements domestiques et professionnels pendant plus d'une décennie.

Ces évolutions ont fait de Windows l'un des systèmes d'exploitation

les plus influents de l'histoire de l'informatique, marquant le passage de l'informatique personnelle d'un outil de niche à un produit de masse.

### AmigaOS - (1985)

En **juillet 1985**, Commodore lance l'AMIGA 1000, un micro-ordinateur révolutionnaire accompagné de son système d'exploitation original, communément appelé *AmigaOS*. À une époque où la plupart des ordinateurs personnels sont limités soit par une interface texte, soit par un environnement graphique monotâche, l'Amiga se distingue en offrant dès sa sortie un système multitâche préemptif, une interface graphique couleur et des capacités multimédias hors du commun.

Le cœur d'AmigaOS est constitué d'un micro-noyau appelé EXEC, qui gère le multitâche préemptif avec une faible consommation de mémoire. Cela lui permet d'exécuter plusieurs programmes simultanément.

L'interface graphique, nommée INTUITION, propose un **Workbench** qui permet de manipuler des fichiers par glisser-déposer et de basculer entre plusieurs écrans de résolutions différentes. L'AmigaOS a marqué l'histoire en démontrant que l'informatique multimédia était accessible sur un ordinateur personnel.

Parmi les logiciels emblématiques figurent *Deluxe Paint* pour le dessin numérique et le *Video Toaster* pour le montage vidéo, renforçant l'image de l'Amiga comme machine de création.

Malgré ses qualités techniques, l'Amiga peina à trouver son public face aux PC et Macintosh, mais il reste dans les mémoires comme un précurseur de l'ordinateur multimédia grand public.

## 8.5 La diversité des OS

### Linux et les OS libre

Dans l'histoire des systèmes d'exploitation, les années 1990 voient émerger une tendance de fond qui va profondément modifier le paysage logiciel : le mouvement des **systèmes d'exploitation libres et open source**. Au cœur de ce mouvement se trouve **Linux**, un noyau de système d'exploitation développé collaborativement, dont la popularité et l'influence n'ont cessé de grandir depuis sa création en 1991. L'essor de Linux s'inscrit dans un contexte plus large, celui des *OS libres*, c'est-à-dire des systèmes dont le code source est ouvert, modifiable et distribuable par chacun selon des licences permissives (telle la GPL, GNU General Public License). Cette philosophie, initiée par le projet GNU de Richard Stallman dans les années

1980, prône le partage du savoir et la liberté logicielle en réaction à la prolifération des logiciels propriétaires. Retracer l'histoire de Linux et des OS libres, c'est mettre en lumière une révolution plus silencieuse, menée par des communautés de bénévoles et d'étudiants, mais dont l'impact technique et social est considérable.

L'origine de Linux remonte à 1991, à l'université d'Helsinki. *Linus Torvalds*, un étudiant finlandais de 21 ans, bricole alors un petit noyau de système compatible Unix pour son ordinateur personnel équipé d'un processeur Intel 386. Son but initial est modeste : il souhaite simplement avoir un environnement de type Unix chez lui, à des fins d'apprentissage et parce que les solutions existantes sont soit coûteuses (les UNIX commerciaux pour PC), soit insatisfaisantes (Minix, un OS éducatif limité). Le 25 août 1991, Torvalds poste un message sur le forum Usenet `comp.os.minix` pour annoncer son projet naissant : « Hello everybody out there using Minix – I'm doing a (free) operating system (just a hobby, won't be big and professional like GNU) [...] »<sup>5</sup>

Très vite, Torvalds publie son code source sur Internet (dès la version 0.01 en septembre 1991) et invite d'autres programmeurs à y contribuer. Cette ouverture, combinée à la coïncidence heureuse que de nombreux outils essentiels (compilateur GCC, utilitaires Unix) existaient déjà via le projet GNU, va permettre à Linux de grandir à un rythme fulgurant. En quelques années, grâce à l'apport d'une communauté mondiale de bénévoles, Linux passe du stade de jouet de hacker à celui d'un véritable système d'exploitation UNIX complet, stable et performant.

Techniquement, Linux reprend l'architecture classique des UNIX : un noyau monolithique gère les processus, la mémoire, les pilotes de périphériques, avec une philosophie multi-utilisateur et multitâche préemptif robuste. L'adoption de la licence GNU GPL dès 1992 garantit que le code source restera librement disponible et que toute contribution ou modification devra à son tour être partagée sous les mêmes conditions, assurant un enrichissement mutuel continu. Rapidement, des volontaires assemblent autour du noyau Linux l'ensemble des composants nécessaires pour obtenir un OS fonctionnel : les outils GNU (shell Bash, éditeurs, compilateurs...), des interfaces utilisateurs en mode texte (comme *ncurses*) puis graphique (le serveur d'affichage X Window, dès 1992 sur Linux), etc. C'est la naissance des premières **distributions Linux**, comme SLACKWARE (1993) ou DEBIAN (1994), qui regroupent le noyau et un ensemble cohérent de logiciels installables. Chacune de ces distributions est elle-même un projet commu-

---

5. « Hello everybody out there using minix – I'm doing a (free) operating system (just a hobby, won't be big and professional like gnu) for 386(486) AT clones... » annonce Linus Torvalds sur `comp.os.minix` le 25 août 1991.

nautaire. Debian, par exemple, fondée par *Ian Murdock*, s'organise d'emblée autour d'un contrat social et de principes ouvertement inspirés du mouvement du logiciel libre, garantissant son développement non-commercial et sa fiabilité à long terme.

Le **focus particulier sur Linux** ne doit pas faire oublier qu'il existe d'autres systèmes libres significatifs. Le projet GNU initié en 1983 a produit de nombreux composants cruciaux (compilateur GCC, éditeur Emacs, etc.) et poursuivait le développement d'un noyau appelé HURD, qui cependant n'a jamais atteint une maturité suffisante dans les années 90, éclipsé par Linux. D'autres systèmes ouverts ont vu le jour ou se sont renforcés : les BSD (FREEBSD, NETBSD, OPENBSD) descendants directs d'Unix BSD de Berkeley, sont rendus libres dans les années 93-95 et offrent une alternative robuste, notamment prisée dans certains serveurs et pare-feux. Mais leur communauté, plus conservatrice, reste en retrait par rapport à l'expansion phénoménale de Linux. On peut aussi mentionner des OS libres expérimentaux (ReactOS pour tenter de cloner Windows, Haiku reprenant l'héritage de BeOS, etc.), mais leur impact est restreint.

Aujourd'hui, Linux est partout : non seulement sur les serveurs, mais aussi embarqué dans des appareils (routeurs, TV connectées, supercalculateurs, etc.), et même indirectement sur des milliards de smartphones via **Android** qui utilise un noyau Linux modifié. Il convient donc de noter que l'essor des OS libres a préparé le terrain pour l'ère moderne de la mobilité et de l'Internet omniprésent. En conclusion, l'histoire de Linux et des OS libres est celle d'une **démocratisation du développement logiciel** et d'une redistribution du pouvoir technologique. D'un hobby d'étudiant, Linux est devenu en trente ans une pierre angulaire de l'infrastructure mondiale, prouvant la viabilité d'un modèle alternatif où la coopération prime sur la compétition et où le savoir est partagé plutôt que jalousement gardé. Cette éthique a influencé bien au-delà des systèmes d'exploitation, jusqu'aux projets collaboratifs contemporains (Wikipédia, OpenStreetMap, etc.). Dans l'évolution des OS, GNU/Linux occupe donc une place unique : celle du « bazar » auto-organisé qui a su rivaliser avec les « cathédrales » industrielles (pour reprendre la métaphore célèbre de Eric S. Raymond), et qui a ouvert à tous les coulisses d'un système d'exploitation.

## Les OS pour mobiles

Le tournant du **XXI<sup>e</sup> siècle** marque l'essor des systèmes d'exploitation mobiles, transformant l'informatique de bureau en informatique de poche. Les premiers acteurs de ce secteur, comme **Palm OS** et **Symbian**, ont jeté les bases de la mobilité numérique. Plus tard, l'avènement de **iOS** et

**Android** a redéfini les standards en matière d'interface et de connectivité, intégrant la téléphonie et les services en ligne au sein de véritables ordinateurs de poche.

**Palm OS**, lancé en 1996 par Palm Computing, est l'un des premiers systèmes pour assistants personnels (PDA). Conçu pour être simple et rapide, il se caractérise par une interface tactile stylus-driven et un système de reconnaissance d'écriture appelé GRAFFITI, permettant de saisir des informations personnelles (contacts, agenda, notes) avec un alphabet simplifié. Réputé pour sa légèreté, Palm OS a su s'imposer dans les milieux professionnels grâce à sa robustesse et à son autonomie prolongée. Son succès montre l'importance d'une interface adaptée aux contraintes d'un usage nomade.

**Symbian OS**, issu de l'évolution de EPOC par Psion, devient la référence des premiers smartphones grâce à son noyau multitâche préemptif et sa gestion efficace des ressources. Adopté massivement par Nokia, Symbian domine le marché des téléphones intelligents au milieu des années 2000. Toutefois, sa complexité et le morcellement de ses versions nuiront à sa pérennité face aux systèmes plus modernes.

Le lancement de **iOS** en 2007 avec l'iPhone représente une révolution par son interface multi-touch intuitive et son écosystème fermé mais cohérent. En introduisant l'App Store en 2008, Apple permet aux développeurs de distribuer facilement des applications, popularisant ainsi le concept de smartphone auprès du grand public.

**Android**, lancé en 2008 par Google, propose une alternative ouverte, adaptable par divers constructeurs. Basé sur un noyau Linux, il favorise un écosystème diversifié et accessible. La concurrence avec iOS pousse Android à innover rapidement, intégrant des fonctions de personnalisation et des services Google, ce qui lui permet de dominer rapidement le marché mondial.

Ces systèmes d'exploitation ont permis de démocratiser l'informatique mobile en transformant les téléphones en plateformes multimédias et communicantes. Ils ont posé les fondations d'un monde connecté où l'information est toujours à portée de main.



## CHAPITRE 9

### LES PREMIERS LOGICIELS PROFESSIONNELS

*Avec l'essor de la micro-informatique à la fin des années 1970, l'ordinateur personnel quitte progressivement le domaine de l'expérimentation pour devenir un véritable outil de travail. Ce changement s'accompagne d'une révolution silencieuse : l'émergence des premiers logiciels professionnels. Pour la première fois, des programmes permettent d'accomplir des tâches complexes — calculs financiers, gestion de bases de données, traitement de texte — directement depuis un poste de bureau. Des logiciels emblématiques comme VisiCalc, premier tableur accessible au grand public, WordStar, pionnier du traitement de texte, ou encore dBase II, référence dans la gestion de bases de données, transforment profondément l'usage de l'informatique. Ils rendent l'ordinateur indispensable pour les entreprises, les professions libérales et même les particuliers. Ce chapitre retrace l'apparition de ces logiciels fondateurs, leur impact immédiat, et leur influence durable sur la productivité et l'organisation du travail moderne. Ces applications prépareront l'explosion des suites bureautiques dans les décennies suivantes.*

## 9.1 dBase et la gestion des bases de données

## 9.2 WordStar

**WordStar** est un logiciel de traitement de texte développé par **Micro-Pro International** en 1978. Il est à noter qu'en 1968, l'informaticienne américaine *Evelyn Berezin* a conçu le « Data Secretary », considéré comme le premier traitement de texte dédié. WordStar est conçu à l'origine pour le système d'exploitation CP/M, il a ensuite été porté sous MS-DOS.

WordStar a dominé le marché des traitements de texte du début au milieu des années 1980, devenant un outil essentiel pour les professionnels de l'époque.

## 9.3 VisiCalc le premier tableur !

**VisiCalc**, développé en 1979 par Dan Bricklin et Bob Frankston, est reconnu comme le premier tableur électronique pour ordinateurs personnels, initialement conçu pour l'Apple II. Ce logiciel a transformé l'ordinateur personnel en un outil indispensable pour les entreprises, marquant ainsi l'avènement des applications phares, ou "killer apps". L'idée de VisiCalc est née lorsque Bricklin, étudiant à la Harvard Business School, a imaginé une "calculatrice visuelle" interactive pour simplifier les calculs financiers complexes. Le succès de VisiCalc a été fulgurant, avec environ 700 000 copies vendues en six ans. Cependant, l'incapacité de breveter le logiciel a permis à des concurrents comme Lotus 1-2-3 de dominer le marché par la suite. Malgré cela, VisiCalc demeure une innovation majeure qui a démontré le potentiel des ordinateurs personnels dans le monde professionnel.

## 9.4 WordPerfect

Sorti en 1979 pour les micro-ordinateurs, **WordPerfect** s'est rapidement imposé comme le standard du traitement de texte professionnel dans les années 1980. Grâce à sa richesse fonctionnelle, sa grande personnalisation et sa compatibilité avec de nombreuses imprimantes, WordPerfect est devenu incontournable dans les cabinets juridiques, les entreprises et l'administration. Malgré l'arrivée de Microsoft Word, il est resté dominant jusqu'au début des années 1990.

## 9.5 dBase II

**dBase II**, développé par Ashton-Tate en 1980, est l'un des premiers logiciels de gestion de bases de données relationnelles destinés aux micro-ordinateurs. Conçu pour fonctionner initialement sur CP/M, il permet aux utilisateurs de stocker, organiser et interroger de grands volumes de données sans nécessiter de compétences en programmation avancée.

Ce logiciel repose sur une interface en ligne de commande, simple mais puissante, qui offre la possibilité de manipuler des fichiers de données (*.dbf*) via un langage de requêtes rudimentaire. dBase II démocratise ainsi l'usage de la base de données dans les petites et moyennes entreprises, qui jusque-là ne pouvaient s'offrir des solutions informatiques lourdes et coûteuses.

dBase II connaît un succès phénoménal au début des années 1980, devenant un standard industriel pour la gestion de l'information.

## 9.6 Multiplan

**Multiplan**, développé par Microsoft et lancé en 1982, est l'un des premiers tableurs électroniques destinés aux micro-ordinateurs. Conçu pour concurrencer VisiCalc, il a été initialement déployé sur des systèmes CP/M, puis porté sur diverses plateformes, notamment MS-DOS, Xenix, Apple II et Commodore 64. Malgré sa disponibilité sur de multiples systèmes, Multiplan n'a pas réussi à s'imposer face à des concurrents comme Lotus 1-2-3, qui dominaient le marché des tableurs sur PC. Cette situation a conduit Microsoft à développer Excel, lancé en 1985 pour le Macintosh, puis en 1987 pour Windows, qui est devenu l'un des tableurs les plus utilisés au monde. Une particularité de Multiplan résidait dans son mode d'adressage des cellules, utilisant le format L1C1 (ligne 1, colonne 1) au lieu du traditionnel A1, ce qui le distinguait de ses concurrents.

## 9.7 AutoCAD

Lancé en 1982 par la société Autodesk, **AutoCAD** est le premier logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) à être disponible sur des micro-ordinateurs personnels. Il a révolutionné les secteurs de l'architecture, de l'ingénierie et du design en remplaçant les traditionnels plans papier par des dessins techniques numériques. AutoCAD a permis une réduction considérable des temps de conception et a ouvert l'accès à la CAO à des entreprises de toutes tailles.

## 9.8 Lotus 1-2-3

**Lotus 1-2-3**, lancé en 1983 par Lotus Development Corporation, a révolutionné le monde des tableurs électroniques en intégrant des fonctionnalités de calcul, de création de graphiques et de gestion de bases de données, d'où son nom "1-2-3". Écrit en langage assembleur, il exploitait pleinement les capacités des ordinateurs de l'époque, offrant une rapidité et une efficacité remarquables. Une anecdote intéressante : Lotus 1-2-3 a été l'un des premiers logiciels à être promu via des publicités télévisées, contribuant à sa popularité rapide. De plus, il a popularisé l'utilisation de la carte graphique Hercules, permettant l'affichage de graphiques en haute résolution monochrome. Malgré son succès initial, Lotus 1-2-3 a progressivement perdu du terrain face à des concurrents comme Microsoft Excel. IBM, qui avait acquis Lotus, a officiellement mis fin au support de Lotus 1-2-3 en 2013. Cependant, en 2020, des passionnés ont réussi à porter Lotus 1-2-3 sur Linux !.

## 9.9 Microsoft Excel

**Microsoft Excel**, lancé en 1985, est un tableur électronique développé par Microsoft pour concurrencer des logiciels tels que Lotus 1-2-3. Initialement conçu pour le Macintosh d'Apple, Excel a rapidement gagné en popularité grâce à son interface utilisateur améliorée et ses fonctionnalités avancées.

Bill Gates, cofondateur de Microsoft, a joué un rôle déterminant dans le développement d'Excel. Sa vision stratégique visait à créer un logiciel de productivité supérieur, capable de tirer parti des capacités graphiques avancées du Macintosh. Le succès d'Excel sur Macintosh a pavé la voie à son adaptation sur Windows, contribuant ainsi à l'essor de la suite Microsoft Office. Aujourd'hui, Excel demeure un outil incontournable pour les professionnels et les particuliers.

## 9.10 Microsoft Word

Apparu en 1983, **Microsoft Word** est l'un des premiers traitements de texte graphiques pour micro-ordinateurs. Contrairement à ses prédecesseurs qui reposaient sur des interfaces textuelles, Word introduit l'affichage *WYSIWYG* (*What You See Is What You Get*), permettant à l'utilisateur de visualiser directement le résultat final à l'écran. Il s'imposera progressivement comme la nouvelle référence mondiale du traitement de texte, notamment avec l'essor de Windows.

## CHAPITRE 10

### LES GÉANTS DE L'INFORMATIQUE

*L'histoire de l'informatique moderne ne peut être dissociée de celle de ses grandes entreprises pionnières. Ces sociétés, parfois nées dans des garages ou des laboratoires de recherche, ont façonné l'évolution des technologies, des usages et des marchés mondiaux. IBM, longtemps surnommée Big Blue, a posé les bases de l'informatique d'entreprise avec ses mainframes et ses standards industriels. Hewlett-Packard a contribué dès la fin des années 1930 à la naissance de la Silicon Valley, bien avant l'essor des semi-conducteurs avec Fairchild Semiconductor et Intel. D'autres acteurs, comme Xerox, ont développé des inventions fondamentales mais parfois mal exploitées commercialement, laissant la place à de nouveaux géants. Intel, Microsoft et Apple ont, chacun à leur manière, révolutionné l'ordinateur personnel, popularisé l'usage de l'informatique individuelle et redéfini les interfaces homme-machine. Enfin, de nouvelles figures comme Google et Facebook, ainsi que des entreprises historiques comme Bull, prolongent cette aventure vers l'ère du numérique ubiquitaire. Cette partie retrace le parcours de ces géants, en mettant en lumière leurs contributions majeures, leurs réussites spectaculaires, mais aussi leurs erreurs stratégiques, dans une histoire en perpétuel mouvement.*

## 10.1 IBM

### Du recensement à l'International Business Machines

La constitution américaine impose d'effectuer un recensement de la population tous les dix ans afin d'ajuster la politique à la démographie du pays. Le recensement de 1880 fut si laborieux et fastidieux que les résultats ne furent disponibles qu'en 1888, les rendant déjà obsolètes. Pour le recensement de 1890, réalisé par le *U. S. Census Bureau*, une plus grande efficacité était recherchée. C'est l'ingénieur visionnaire **Herman Hollerith** qui remporta l'appel d'offres. Hollerith proposa une solution innovante : l'utilisation de **machines électromécaniques** exploitant des **cartes perforées** pour enregistrer et analyser les données. Chaque perforation représentait une réponse à une question posée lors du recensement. Cette méthode permit de traiter les données bien plus rapidement que les systèmes manuels utilisés auparavant. Le recensement de 1890 fut ainsi finalisé en **quelques mois**, au lieu de plusieurs années. Fort de ce succès, Hollerith fonda en 1896 la **Tabulating Machine Company**. Initialement limitées aux statistiques, ses machines furent progressivement perfectionnées par Powers, Bull et Hollerith lui-même, et purent ainsi être utilisées pour la gestion comptable. Après plusieurs fusions, cette entreprise devint en 1924 la **International Business Machines (IBM)**.

### Standardisation des Cartes Perforées

Comme nous venons de le voir IBM a popularisé l'usage des **cartes perforées** au début du xx<sup>e</sup> siècle. Cette innovation a permis de traiter rapidement de grandes quantités de données, ce qui a permis l'automatisation administrative et industrielle.

### Premiers Ordinateurs Électromécaniques

En 1944, IBM s'associe à Harvard pour créer le **Harvard Mark I**, l'un des premiers ordinateurs électromécaniques.<sup>1</sup>

### IBM 603 : La Première Calculatrice Électronique

L'**IBM 603**, introduite en 1946, est reconnue comme la première calculatrice électronique de l'histoire. Conçue pour effectuer rapidement des opérations arithmétiques, elle utilisait des tubes à vide pour automatiser les

1. Voir le chapitre 5 sur l'évolution du matériel informatique.

calculs. Cette innovation marqua une rupture avec les machines électromécaniques précédentes. Le modèle 603 pouvait exécuter des multiplications en quelques millisecondes, réduisant considérablement le temps nécessaire pour des opérations complexes. Elle fut principalement utilisée par des institutions militaires et scientifiques.

## Ordinateurs Commerciaux

IBM a introduit le **IBM 701** en 1952, conçu à l'origine pour l'armée américaine dans le cadre de la Guerre froide. Parallèlement, IBM développa le **IBM 702**, destiné à un usage commercial et civil, héritant des recherches menées sur le projet **Whirlwind** initié par le MIT. En 1959, l'**IBM 1401** démocratisa l'informatique de gestion grâce à sa fiabilité et son coût réduit.

## IBM System/360 (1964)

Le **System/360** fut une révolution, introduisant des ordinateurs compatibles entre eux. Ce concept de **compatibilité ascendante** permit aux entreprises de pérenniser leurs investissements informatiques.

## L'invention de la Disquette (1971)

IBM inventa la **disquette**, facilitant le transport et la sauvegarde des données. Cette innovation permit la diffusion massive de logiciels et la démocratisation de l'informatique personnelle.

## IBM PC (1981)

L'**IBM PC** s'imposa rapidement comme le standard mondial des ordinateurs personnels. Sa conception ouverte permit l'essor d'un vaste écosystème logiciel et matériel, bouleversant profondément le secteur de la micro-informatique. Il marqua ainsi le début de l'informatisation grand public et joua un rôle déterminant dans la démocratisation de l'ordinateur personnel. À la fin des années 1970, des entreprises telles qu'**Apple**, **Commodore** et **Tandy** avaient déjà lancé des ordinateurs personnels. Toutefois, ces machines restaient principalement utilisées par des amateurs et de petites entreprises. IBM, jusque-là centrée sur les ordinateurs centraux (*mainframes*) et les systèmes professionnels, fit alors le pari de pénétrer ce marché émergent. L'**IBM PC** devint rapidement une référence, introduisant le concept de **PC compatible**. Cette standardisation facilita l'émergence d'un écosystème dynamique de logiciels et de périphériques interopérables,

stimulant l'innovation et abaissant les coûts. L'essor du PC entraîna également la croissance rapide d'une industrie logicielle indépendante. Des entreprises comme **Lotus** (avec le célèbre **Lotus 1-2-3**) et **Microsoft** profitèrent largement de cette adoption massive. Au sein des entreprises, l'IBM PC remplaça progressivement les machines à écrire et permit l'automatisation de nombreuses tâches administratives. L'accord stratégique passé entre IBM et Microsoft permit à cette dernière de dominer le marché des systèmes d'exploitation, ouvrant la voie à **Windows** quelques années plus tard. L'IBM PC ne se limita pas aux bureaux : il fit également son entrée dans les foyers, devenant un outil éducatif et de divertissement. Cette adoption massive posa les bases de la société numérique contemporaine, transformant profondément notre quotidien et notre rapport à la technologie.

## Le développement du SQL (1970s)

IBM fut pionnier dans les bases de données relationnelles avec **System R**<sup>2</sup>, qui mena à la création de **SQL**, aujourd'hui toujours un standard dans la gestion des bases de données relationnelles.<sup>3</sup>

## Deep Blue (1997)

IBM développa **Deep Blue**, le premier ordinateur à battre Garry Kasparov, champion du monde d'échecs, illustrant la puissance de l'IA et des supercalculateurs.

## Watson

**Watson**, IA conçue par IBM, remporta Jeopardy ! en 2011, démontrant des avancées significatives dans le traitement du langage naturel et les systèmes experts.

## Open Source et Cloud

IBM est un acteur clé dans le développement du **cloud computing** et des technologies **open source**, notamment par son soutien à Linux et l'essor de l'informatique quantique.

2. Le système R est un projet expérimental développé par IBM dans les années 1970 qui a marqué la naissance des bases de données modernes.

3. Certaines bases de données modernes, comme MongoDB ou Cassandra, n'utilisent plus SQL mais des modèles NoSQL adaptés aux besoins de flexibilité et de performance.

## Informatique Quantique

IBM est à l'avant-garde de la recherche en **informatique quantique**. L'entreprise développe des processeurs quantiques et propose des services de calcul quantique via le cloud.

## 10.2 Hewlett-Packard

Hewlett-Packard (HP) est fondée en 1939 par *Bill Hewlett* et *Dave Packard*, HP a contribué de manière significative à l'évolution des technologies modernes, de l'instrumentation électronique aux ordinateurs personnels.

### Origines et Instrumentation

HP débute avec la création du **HP 200A**, un oscillateur audio de précision largement utilisé par Walt Disney pour le film *Fantasia*. Cette innovation marqua les débuts de la société dans l'instrumentation électronique.

### Premiers Ordinateurs (1966)

En 1966, HP lance son premier ordinateur, le **HP 2116A**, initialement conçu pour contrôler les instruments électroniques. Il s'agissait d'un des premiers ordinateurs à intégrer un concept de **multiprogrammation**.

### Calculatrices de Poche (1972)

HP révolutionna l'informatique personnelle avec la sortie de la **HP-35**, la première calculatrice scientifique de poche. Cet appareil permit aux ingénieurs et scientifiques de réaliser des calculs complexes sans recourir à des ordinateurs.

### Imprimantes et Périmétriques (1984)

HP domine le marché des imprimantes avec la sortie de la **HP LaserJet**, l'une des premières imprimantes laser destinées aux bureaux. Cette innovation ouvrit la voie à la standardisation des imprimantes de haute qualité.

### HP et les Serveurs (1990s)

HP se diversifie dans les serveurs et les stations de travail, devenant un acteur clé dans l'industrie informatique avec la gamme **HP 9000**. Ces

serveurs furent utilisés par des entreprises du monde entier pour des applications critiques.

### Informatique Personnelle (2000s)

Avec l'acquisition de Compaq en 2002, HP devint l'un des plus grands fabricants de PC au monde, renforçant sa présence sur le marché de l'informatique personnelle et professionnelle.

### Cloud et Services (2010s)

HP s'engagea dans les services de **cloud computing** et les solutions d'entreprise, développant des technologies de stockage et de réseau pour répondre aux besoins croissants des centres de données.

### Conclusion

Hewlett-Packard a joué un rôle crucial dans la démocratisation de l'informatique et l'électronique, de la calculatrice scientifique aux ordinateurs personnels et serveurs. Ses innovations ont façonné l'industrie technologique moderne.

## 10.3 L'histoire de la Silicon Valley

La Silicon Valley est aujourd'hui synonyme d'innovation technologique et de puissance économique. Ce territoire du nord de la Californie abrite les plus grandes entreprises technologiques du monde, mais son histoire remonte bien avant l'essor des start-ups et des géants du numérique. Comprendre les origines de la Silicon Valley nécessite d'explorer ses racines dans l'industrie électronique, la recherche universitaire et la culture entrepreneuriale qui s'est développée au fil des décennies.

### Une Terre de Recherche et d'Innovation (1930-1950)

Avant de devenir le centre névralgique de l'innovation, la région de la Silicon Valley était principalement agricole, dominée par des vergers et des exploitations de fruits. Son climat méditerranéen et ses terres fertiles en faisaient une région propice à l'agriculture. Les prémisses de la Silicon Valley remontent aux années 1930, lorsque l'Université de Stanford commença à jouer un rôle central dans la recherche en ingénierie et électronique. En 1939, **Hewlett-Packard (HP)** fut fondée par **Bill Hewlett** et **Dave Packard** dans un garage de Palo Alto, incarnant l'esprit pionnier de la

région. Ce garage est aujourd'hui reconnu comme le *berceau de la Silicon Valley*. Pendant la Seconde Guerre mondiale, la région devint un centre stratégique de développement technologique. Les contrats militaires et les besoins en nouvelles technologies électroniques contribuèrent à la création d'entreprises spécialisées dans les radars, les systèmes de communication et les circuits électroniques.

## L'Origine du Nom : Silicon Valley

Le terme **Silicon Valley** a été popularisé dans les années 1970 par le journaliste **Don Hoefler**, dans une série d'articles publiés sous le titre *Silicon Valley USA*. Le nom fait référence à la forte concentration d'entreprises spécialisées dans les semi-conducteurs, un matériau clé utilisé dans la fabrication de puces électroniques, dont le principal composant est le silicium. L'utilisation du silicium a été cruciale pour l'essor de l'industrie électronique et a permis de faire de cette région un pôle majeur de l'innovation technologique.

## L'Influence de Stanford et de Frederick Terman (1950-1960)

L'un des acteurs clés de cette période fut **Frederick Terman**, professeur à Stanford, souvent surnommé le *parrain de la Silicon Valley*. Terman encouragea ses étudiants à créer leurs propres entreprises et facilita la collaboration entre Stanford et les industries locales. Il fut à l'origine du **Stanford Industrial Park** (1951), un centre d'innovation où des entreprises technologiques comme HP vinrent s'installer. Sous l'impulsion de Terman, Stanford devint un vivier de talents et une plaque tournante de l'innovation technologique. Ce lien étroit entre université et industrie deviendra l'un des marqueurs distinctifs de la Silicon Valley.

## L'Avènement des Semi-Conducteurs (1950-1970)

Le véritable tournant eut lieu avec l'essor des semi-conducteurs. En 1957, **William Shockley**, co-inventeur du transistor, fonda la **Shockley Semiconductor Laboratory**. Toutefois, son style de gestion autoritaire poussa plusieurs de ses ingénieurs à quitter l'entreprise. Huit d'entre eux, surnommés les *Traitorous Eight*, fondèrent **Fairchild Semiconductor**. Fairchild devint une entreprise phare de la région, posant les bases de l'industrie du semi-conducteur. Parmi ses anciens employés, **Robert Noyce** et **Gordon Moore** créèrent **Intel** en 1968, initiant ainsi l'ère du microprocesseur.

## Les Garages : Symboles de l'Entrepreneuriat

Les garages sont devenus des symboles de la Silicon Valley, représentant l'esprit entrepreneurial et l'innovation à petite échelle. Outre HP, d'autres géants comme **Apple** et **Google** ont vu le jour dans des garages modestes. Cette culture du *do-it-yourself* illustre la capacité des ingénieurs et entrepreneurs à démarrer des projets ambitieux avec peu de moyens.

## Les Années 1970 : L'Émergence des Ordinateurs Personnels

La Silicon Valley continua d'évoluer rapidement durant les années 1970 avec la naissance de l'ordinateur personnel. En 1976, **Steve Jobs** et **Steve Wozniak** fondèrent **Apple Computer** dans un garage de Cupertino, introduisant l'Apple I, l'un des premiers ordinateurs personnels destinés au grand public. Simultanément, des entreprises comme **Atari**, **Intel** et **AMD** contribuèrent à l'essor de l'industrie informatique. La Silicon Valley devint le point focal d'une révolution technologique qui allait transformer la société à travers le monde.

## 10.4 Xerox et le rendez vous manqué !

L'histoire de l'informatique moderne ne peut être dissociée de l'influence majeure du **Xerox Palo Alto Research Center (PARC)**. Fondé en 1970 par **Xerox Corporation**, ce laboratoire de recherche a jeté les bases de nombreuses technologies qui façonnent encore aujourd'hui notre interaction avec les ordinateurs. Le PARC n'a pas seulement développé des idées novatrices, il a redéfini la façon dont nous utilisons les machines, de la souris aux interfaces graphiques. Cependant, l'impact commercial immédiat fut limité. **Xerox**, malgré ses découvertes, ne parvint pas à exploiter pleinement ces innovations. Ce rendez-vous manqué profita à des entreprises émergentes qui surent adapter et populariser ces avancées.

### La Création du Xerox PARC (1970)

Xerox, alors géant de l'industrie des photocopieurs, crée le PARC pour anticiper les évolutions de l'ère numérique. Implanté à Palo Alto, au cœur de ce qui deviendra la Silicon Valley, le PARC bénéficie de la proximité de talents issus de Stanford et du MIT. **Bob Taylor**, ancien directeur du programme ARPA (Advanced Research Projects Agency), fut recruté pour diriger ce laboratoire. Dès le départ, le PARC s'affirme comme un terreau d'innovation. L'approche du laboratoire repose sur une liberté de recherche

rarement accordée dans l'industrie. Il devient rapidement le creuset où s'élaborent des concepts révolutionnaires, souvent des années en avance sur leur temps.

## L’Invention de la Souris et de l’Interface Graphique

L’un des apports les plus emblématiques du PARC est le développement de l’interface graphique (GUI). Inspiré des travaux de **Douglas Engelbart**<sup>4</sup>, le PARC affine et perfectionne la souris, facilitant l’interaction homme-machine. En 1973, le **Xerox Alto** devient le premier ordinateur à intégrer une interface graphique complète, utilisant des fenêtres et des icônes manipulables par la souris. Ce modèle d’interface, bien que révolutionnaire, ne sera pas immédiatement commercialisé par Xerox. Cependant, il influencera directement **Apple**, notamment lors de la visite de Steve Jobs au PARC en 1979. Jobs appliquera ces concepts pour développer le **Lisa** et plus tard le **Macintosh**.

## L’Impression Laser : Une Révolution Silencieuse

Le PARC fut également à l’origine de l’**imprimante laser**, une technologie développée par **Gary Starkweather** en 1971. L’impression laser permit une qualité et une rapidité inédites dans la production de documents. Xerox réussira à commercialiser cette innovation avec le modèle **Xerox 9700** en 1977, consolidant ainsi son leadership dans le domaine de l’impression.

## L’Émergence d’Ethernet et des Réseaux Locaux (LAN)

En 1973, **Robert Metcalfe**, alors chercheur au PARC, développe **Ethernet**, une technologie clé pour les réseaux locaux (LAN). Ethernet deviendra le standard de l’industrie pour la connectivité des ordinateurs en réseau, marquant un tournant dans la communication entre machines. Ce protocole a posé les fondations des infrastructures modernes de réseau, permettant la mise en place des premiers environnements informatiques interconnectés au sein des entreprises.

---

4. Douglas Engelbart est un ingénieur et inventeur américain connu pour avoir démontré la première interface graphique utilisant une souris, lors de la célèbre démonstration de 1968 surnommée *The Mother of All Demos*.

## Un Legs Sous-Estimé mais Omniprésent

Malgré ces avancées majeures, Xerox n'a pas su capitaliser immédiatement sur les inventions de son laboratoire. Le manque de vision stratégique à long terme a permis à des entreprises comme **Apple**, **Microsoft** et **Adobe** de reprendre et de commercialiser ces innovations. Ce rendez-vous manqué de Xerox a laissé un vide que d'autres entreprises ont rapidement comblé. L'échec de Xerox à reconnaître pleinement la valeur de ses découvertes reste un exemple emblématique des opportunités perdues dans l'histoire de la technologie. Xerox PARC représente un paradoxe fascinant dans l'histoire de l'informatique : un foyer de découvertes inégalées dont les bénéfices ont souvent été récoltés par d'autres. Il demeure néanmoins une pierre angulaire de l'innovation technologique, un modèle de ce qu'un laboratoire de recherche audacieux avec une liberté de recherche peut accomplir en redéfinissant les limites du possible.

## 10.5 Intel

La société **Intel Corporation** est l'une des grandes entreprises qui ont permis et largement contribué à façonner le monde informatique actuel. Fondée le 18 juillet 1968 par **Robert Noyce** (surnommé « Bob ») et **Gordon Moore**, Intel a développé des technologies qui sont aujourd'hui au cœur de presque tous les systèmes informatiques.

### La Création d'Intel (1968)

Les deux fondateurs quittent Fairchild Semiconductors, où ils travaillaient auparavant, pour fonder Intel à Mountain View, en Californie. Andrew Grove, bien qu'il ait rejoint Intel dès ses débuts et joué un rôle clé dans son développement, est considéré comme le premier employé et non comme un fondateur officiel. Il deviendra cependant PDG en 1987, menant Intel vers des sommets. Plus tard, Marcian Hoff rejoindra également la direction de la société. Robert Noyce, co-inventeur du circuit intégré, et Gordon Moore, connu pour avoir formulé la célèbre **Loi de Moore**, fondent Intel avec l'objectif initial de produire des mémoires semi-conductrices plus rapides et efficaces que les solutions existantes. Intel produit alors des mémoires intégrées de type RAM statique (SRAM). La première mémoire statique référencée fut la **3101**, vendue à 100 dollars de l'époque. Cette mémoire contenait 64 mots de 4 bits, soit un total de 256 bits. Cependant, c'est en 1971 qu'Intel entra véritablement dans l'histoire avec la sortie du **4004**, le premier microprocesseur commercialisé.

## Le Microprocesseur Intel 4004 (1971)

Le **Intel 4004** fut le premier microprocesseur disponible sur le marché, capable de centraliser les fonctions d'un ordinateur dans une seule puce. Ce microprocesseur contenait environ 2 300 transistors et fonctionnait sur 4 bits, ouvrant la voie à l'ère des ordinateurs personnels.

## Les Apports d'Intel à l'Histoire de l'Informatique

Intel n'a cessé d'innover et de jouer un rôle clé dans la démocratisation de l'informatique. Parmi ses contributions majeures : **Intel 8086 (1978)** : Ce microprocesseur donna naissance à l'architecture **x86**. C'est avec cette série de processeurs que débutent les PC compatibles d'IBM en 1981. **Intel 80386 (1985)** : Premier processeur 32 bits, il permit de développer des systèmes d'exploitation multitâches, accélérant l'évolution des PC. **Pentium (1993)** : Marque emblématique d'Intel, le Pentium introduisit des performances accrues pour les ordinateurs personnels et professionnels. **Processeurs Multicœurs** : Intel fut pionnier dans le développement de processeurs multicœurs, augmentant drastiquement les performances des ordinateurs modernes.

## Loi de Moore et Innovation Continue

La **Loi de Moore**, formulée par Gordon Moore en 1965, prédisait que le nombre de transistors sur une puce doublerait environ tous les deux ans. Cette prédiction est devenue une référence dans l'industrie, incitant Intel à maintenir une cadence d'innovation rapide. Cette loi a contribué à la croissance exponentielle des performances des ordinateurs, tout en réduisant les coûts de production et en rendant l'informatique plus accessible au grand public.

## 10.6 Microsoft

L'histoire de Microsoft s'inscrit comme un chapitre essentiel de l'évolution de l'informatique moderne. Fondée en 1975 par **Bill Gates<sup>5</sup>** et **Paul Allen**, l'entreprise s'imposa rapidement comme un acteur incontournable du développement logiciel.

---

5. De son vrai nom William Henry Gates III



FIGURE 10.1 – Bill Gates – cofondateur de Microsoft en 1975

Dès l'âge de 13 ans, Gates a montré un intérêt marqué pour la programmation. Avec Paul Allen, il a créé un programme de gestion d'emploi du temps pour leur école, le Lakeside Programmers Group. Plus tard, ils ont conçu Traf-O-Data, un programme de gestion du trafic routier dédié à la ville de Seattle, qu'ils ont réussi à vendre pour 20 000 \$. Ce qui démarqua Microsoft ne fut pas seulement sa capacité à innover, mais surtout à *anticiper les besoins* et à *imposer des standards*, souvent au détriment de ses concurrents.

### Les Premiers Pas : BASIC et MS-DOS (1975-1981)

En 1975, alors que Bill Gates étudie à Harvard, Paul Allen découvre l'**Altair 8800** en couverture d'un magazine « Popular Electronics » de janvier 1975. Allen et Gates ont immédiatement contacté MITS<sup>6</sup> en prétendant avoir développé un interpréteur BASIC pour cette machine. En

---

6. MITS : Micro Instrumentation and Telemetry Systems situé Albuquerque, au Nouveau-Mexique.

réalité, ils n'avaient rien codé encore, mais MITS manifesta de l'intérêt. Cela poussa Gates et Allen à travailler sans relâche pendant plusieurs semaines pour écrire ce BASIC, en utilisant uniquement un simulateur de l'Altair sur un ordinateur PDP-10 de Harvard. Lorsque Paul Allen se rend à Albuquerque pour tester le programme, c'est la première fois qu'il exécute réellement le code sur un Altair 8800 ! Miraculeusement, le programme fonctionne du premier coup. Ce succès impressionne Ed Roberts, fondateur de MITS, qui décide de distribuer le BASIC de Microsoft avec chaque Altair vendu. Ce succès les convainc de fonder **Micro-Soft**, dans un garage d'Albuquerque, près de la société MITS qui produit l'Altair. Le nom perd rapidement son tiret pour devenir **Microsoft**. En 1980, IBM cherche un système d'exploitation pour son futur PC. Microsoft n'en possède aucun mais promet à IBM qu'ils peuvent en fournir un. *Sans même avoir le produit en main, Gates signe le contrat.* Il rachète un système appelé QDOS (Quick and Dirty Operating System) pour 50 000 dollars, le rebaptise **MS-DOS**, et l'adapte pour IBM. Ce coup de poker assoit la domination de Microsoft sur l'industrie informatique.

## Windows : La Révolution Graphique (1985)

Inspirée des concepts d'interface graphique développés par **Xerox PARC**, Apple lance en 1983 le **Lisa**, premier ordinateur personnel grand public à intégrer une interface graphique. Cette innovation découle d'une visite de Steve Jobs au laboratoire de Xerox en 1979, où il découvre les prototypes du Xerox Alto. Impressionné, Jobs décide d'adopter ces idées pour les produits Apple. En parallèle, Apple sollicite Microsoft, alors une jeune entreprise, pour développer des logiciels pour le Lisa et le futur **Macintosh**. Parmi ces commandes figure un tableur, qui deviendra plus tard **Excel**. Lors de cette collaboration, Bill Gates est exposé à l'interface graphique du Macintosh, une expérience qui influencera profondément ses choix futurs. Microsoft, conscient du potentiel de ces interfaces, développe à son tour **Windows 1.0**, lancé en 1985. Bien que rudimentaire à ses débuts, Windows emprunte de nombreuses idées aux systèmes d'Apple, déclenchant des tensions entre les deux entreprises. Cependant, c'est avec **Windows 3.0** (1990) et surtout **Windows 95** que Microsoft s'impose dans les foyers et les entreprises, démocratisant l'interface graphique à une échelle mondiale. L'idée d'une interface utilisateur accessible au grand public révolutionne la manière dont les individus interagissent avec les ordinateurs. Microsoft fait de Windows *le nouveau bureau* informatique mondial.

## La Suite Office : Dominer la Productivité (1989)

L'introduction de **Microsoft Office** redéfinit les outils de productivité. Regroupant **Word**, **Excel** et **PowerPoint**, Microsoft impose une suite intégrée et cohérente, faisant disparaître progressivement les alternatives concurrentes. L'effet de levier fut simple : chaque entreprise utilisant Windows adopte Office, consolidant ainsi la suprématie de Microsoft à tous les niveaux de l'environnement professionnel.

## Internet Explorer : La Guerre des Navigateurs (1995-2000)

Avec la montée en puissance d'Internet, Microsoft comprend rapidement l'importance du web. En 1995, l'entreprise intègre **Internet Explorer** à Windows, déclenchant la célèbre **guerre des navigateurs** contre Netscape. L'intégration directe d'Internet Explorer dans Windows provoque des accusations d'abus de position dominante, mais cela permet à Microsoft de capturer une part massive du marché des navigateurs.

## Une Hégémonie Fragile

Si Microsoft domine le monde informatique durant les années 90 et 2000, l'arrivée de nouvelles technologies (smartphones, cloud computing) ébranle cette suprématie. **Google**, **Apple** et **Amazon** émergent comme des concurrents redoutables. Microsoft s'adapte en misant sur **Azure**, sa plateforme de cloud, qui devient l'un des piliers du marché cloud mondial. L'entreprise réoriente son modèle vers les abonnements et les services, renforçant ainsi sa présence.

## 10.7 Apple

L'histoire de l'informatique personnelle ne peut être racontée sans évoquer **Apple Inc.**, une entreprise qui a non seulement popularisé l'ordinateur personnel mais aussi redéfini la manière dont nous interagissons avec la technologie. Fondée en 1976 par **Steve Jobs**, **Steve Wozniak** et **Ronald Wayne**, Apple a transformé des garages en laboratoires d'innovation.

### Les Origines dans un Garage

L'histoire d'Apple commence en 1976 lorsque **Steve Wozniak**, un ingénieur autodidacte, conçoit le premier prototype de l'**Apple I** chez lui. Il s'agit d'une simple carte mère sans clavier ni écran, assemblée pour le plaisir. Wozniak présente cette invention au **Homebrew Computer Club**, un

groupe d'informaticiens passionnés qui se réunissent à Menlo Park, en Californie. C'est lors de ces rencontres que **Steve Jobs** entrevoit le potentiel commercial de l'Apple I. Jobs convainc Wozniak de produire et vendre des kits. Ensemble, ils fondent Apple dans le garage des parents de Jobs à Los Altos, où les premières unités de l'Apple I sont assemblées à la main. Apple est officiellement créée le **1er avril 1976**. Wozniak s'occupe du matériel, tandis que Jobs se charge du marketing et des ventes. Wayne, troisième cofondateur, vend rapidement ses parts pour 800 dollars, une décision qu'il regrettera plus tard.

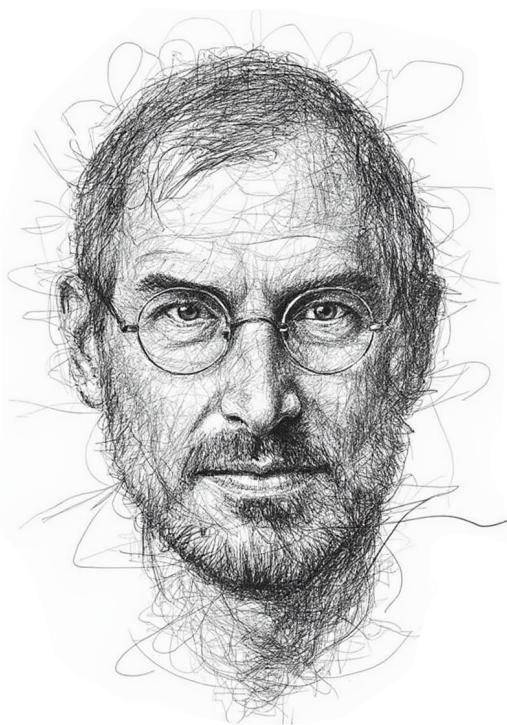


FIGURE 10.2 – Steve Jobs

Dès ses débuts, Steve Jobs cultive une vision singulière : *changer le monde par la technologie*. Il s'inspire de la philosophie zen et s'intéresse profondément à la calligraphie et au design, qu'il juge essentiels pour créer des produits à la fois beaux et fonctionnels. Pour Jobs, les **vrais artistes simplifient**, une conviction qui marquera chaque produit Apple.

## L'Apple II : L'Ordinateur Personnel Réinventé

En 1977, Apple lance l'**Apple II**, le premier ordinateur personnel véritablement accessible au grand public. Contrairement aux machines concurrentes, l'Apple II est doté d'un boîtier plastique attrayant et d'un affichage couleur, une révolution à l'époque.

L'Apple II devient rapidement un succès commercial, notamment grâce à la compatibilité avec **VisiCalc**, le premier tableur électronique, qui transforme l'ordinateur en outil professionnel. Cette alliance de matériel innovant et de logiciels performants établit la réputation d'Apple. Mais cette machine est aussi accepté par les geek et bidouilleurs car la machine est livrée avec un désassembleur ce qui permet de comprendre et prendre la main si besoin sur les instructions.

C'est à ce moment là que Apple change de logo pour prendre celui qu'on lui connaît actuellement : une pomme croquée ! En 1976, lors de la fondation d'Apple Computer par Steve Jobs, Steve Wozniak et Ronald Wayne, le premier logo de la société représentait Isaac Newton assis sous un pommier, une référence à la découverte de la gravité. Ce logo, conçu par *Ronald Wayne*, était complexe et détaillé, ce qui le rendait peu adapté à une utilisation commerciale.

En 1977 lors de la sortie de l'Apple II, **Steve Jobs** a sollicité le graphiste Rob Janoff pour créer un nouveau logo. C'est ainsi qu'est née la célèbre pomme croquée aux couleurs de l'arc-en-ciel. La morsure (« bite » en anglais) a été ajoutée pour éviter toute confusion avec une cerise, et les couleurs symbolisaient les capacités graphiques en couleur de l'Apple II, l'un des premiers ordinateurs personnels à afficher des images en couleur. En 1999, Apple a adopté une version monochrome de son logo, abandonnant les bandes colorées pour un design plus épuré et moderne. Cette évolution reflétait une nouvelle orientation de la marque vers la simplicité et le minimalisme. Contrairement à certaines croyances populaires, le logo d'Apple n'est pas un hommage à Alan Turing, le mathématicien britannique considéré comme le père de l'informatique moderne, qui s'est suicidé en mangeant une pomme empoisonnée. *Rob Janoff* a confirmé que la conception du logo n'avait aucun lien avec Turing.

## Xerox PARC et la Naissance du Macintosh (1979-1984)

En 1979, Steve Jobs visite le **Xerox PARC**, où il découvre l'interface graphique et la souris, des concepts révolutionnaires pour l'époque. Xerox, en échange d'actions Apple, autorise Jobs à voir leurs prototypes. Impressionné, Jobs décide de les intégrer dans les futurs produits Apple. L'**Apple Lisa**, lancé en 1983, est le premier ordinateur grand public à utiliser une

interface graphique. Cependant, son coût élevé (près de 10 000 dollars) limite son succès. Le Lisa est souvent considéré comme un *échec commercial*, mais il ouvre la voie à des innovations majeures. En 1984, Apple corrige ces erreurs avec l'**Apple Macintosh**, introduit par la célèbre publicité « 1984 ». Le Macintosh démocratise l'interface graphique et devient un modèle pour les systèmes futurs.

### La Renaissance avec l'iMac et l'iPod (1997-2001)

Après des années difficiles dans les années 90, Apple connaît une renaissance avec le retour de Steve Jobs en 1997. Sous sa direction, Apple lance l'**iMac** en 1998, un ordinateur tout-en-un coloré au design innovant. L'iMac reflète la philosophie de Jobs : simplicité, élégance et facilité d'utilisation. L'iMac marque le début d'une série de succès qui culminent avec l'**iPod** en 2001, révolutionnant l'industrie musicale.

### L'iPhone et la Révolution Mobile (2007)

En 2007, Apple lance l'**iPhone**, un appareil qui redéfinit l'industrie du smartphone. À cette époque, les téléphones intelligents sont équipés de claviers physiques et de stylets. Jobs, convaincu que ces éléments compliquent inutilement l'expérience utilisateur, s'oppose à leur intégration. Son idée de créer un téléphone uniquement contrôlé par un écran tactile suscite des doutes au sein du conseil d'administration d'Apple, menaçant même sa position. Malgré les réticences internes, Jobs persiste, affirmant que le futur de la technologie repose sur la simplicité et l'intuition. L'iPhone devient rapidement un succès mondial, redéfinissant la conception des téléphones. Aujourd'hui, la plupart des smartphones suivent ce modèle, illustrant la vision avant-gardiste de Jobs. L'**iPad**, lancé en 2010, poursuit cette révolution en créant une nouvelle catégorie d'appareils : la tablette tactile. Il trouve sa place dans l'éducation, la santé, et le divertissement, consolidant la présence d'Apple dans la vie quotidienne.

## 10.8 Bull, Google, Facebook

### Bull

Bull est l'un des pionniers de l'informatique européenne. Fondée en 1931 à Paris autour des travaux de l'ingénieur Fredrik Rosing Bull, la compagnie s'impose très tôt comme une alternative à IBM en Europe. Elle se développe dans les tabulatrices à cartes perforées puis conçoit ses propres ordinateurs. Bull connaît plusieurs réstructurations : elle s'allie à General

Electric dans les années 1960, devient Honeywell-Bull, puis est nationalisée en France dans les années 1980 avant d'être privatisée en 1994. En 2014, elle est intégrée à Atos. Spécialisée dans le calcul haute performance et la cybersécurité, Bull a permis à l'Europe de conserver une compétence stratégique dans les technologies informatiques, et continue à jouer un rôle majeur dans les infrastructures critiques et les supercalculateurs.

## Google

Google, fondé en 1998 par Larry Page et Sergey Brin, bouleverse l'accès à l'information avec son moteur de recherche basé sur l'algorithme Page-Rank. Rapidement devenu leader mondial, Google diversifie ses activités : Gmail, Google Maps, Android, Chrome, YouTube. Le modèle économique de la publicité ciblée assure sa croissance. En 2015, la création de la holding Alphabet reflète la diversification vers l'intelligence artificielle, la santé et les voitures autonomes. Google transforme Internet en démocratisant l'accès à l'information et en révolutionnant les modèles économiques du numérique. Il façonne aussi l'infrastructure technique moderne avec ses centres de données et ses innovations en IA.

## Meta (Facebook)

Lancé en 2004 par Mark Zuckerberg à Harvard, Facebook (devenu Meta en 2021) popularise les réseaux sociaux et modifie durablement les modes de communication. Après une croissance fulgurante, Facebook rachète Instagram et WhatsApp, étend son empire, et devient l'un des piliers du Web social. Les questions à propos de la gestion des données et de l'impact sociétal se multiplient. En 2021, avec la création de Meta, l'entreprise parie sur le développement du métavers. En parallèle, elle investit massivement dans l'IA et les infrastructures. Meta symbolise à la fois l'avènement d'une société connectée et les nouveaux débats éthiques sur la vie privée, l'influence technologique et l'avenir des interactions humaines.

## CHAPITRE 11

### L'INFORMATIQUE ET LA SOCIÉTÉ

*Depuis son origine, l'informatique a profondément transformé les sociétés humaines, devenant bien plus qu'un simple outil technologique. D'abord développée pour répondre à des enjeux militaires pendant la Seconde Guerre mondiale et la guerre froide, elle a rapidement investi le monde civil, révolutionnant l'industrie, les communications, et même les loisirs, comme avec les jeux vidéo. L'avènement d'Internet dans les années 1980 a amplifié cette transformation, favorisant l'émergence d'une économie numérique et remodélant les interactions sociales. Au XX<sup>e</sup> siècle, l'informatique connectée, associée aux réseaux sociaux, aux données massives et à l'intelligence artificielle, a redéfini nos modes de vie tout en posant des défis éthiques, sociaux et environnementaux. Ce chapitre retrace cette évolution, montrant comment l'informatique s'est imposée comme un pilier central des sociétés modernes et un moteur de changement global.*

## 11.1 les enjeux militaires

### Les calculateurs et la Seconde Guerre mondiale

Durant la Seconde Guerre mondiale, les besoins stratégiques des grandes puissances ont provoqué une mobilisation inédite de la science. Pour la première fois, les ingénieurs, mathématiciens et physiciens se sont trouvés directement associés à l'effort militaire. Cette situation, liée à l'urgence du conflit, a joué un rôle de catalyseur dans le développement des techniques de calcul automatique. Les besoins en calcul se sont révélés cruciaux dans deux domaines stratégiques : d'abord **la balistique**, puis plus tard **le nucléaire**.

Pour comprendre l'ampleur de ces besoins, il faut se replacer dans le contexte de la Seconde Guerre mondiale. Ce n'était plus une guerre de position comme celle de 1914-1918, mais un conflit dominé par les frappes à distance, où les projectiles – obus, missiles, bombes – jouaient un rôle décisif. Pour toucher avec précision une cible située à plusieurs kilomètres, il fallait ajuster avec soin l'angle de tir, la vitesse initiale, la masse du projectile, les conditions atmosphériques et bien d'autres paramètres. À cette fin, les armées utilisaient des tables de tir, véritables guides techniques qui indiquaient, pour chaque type de canon, les réglages nécessaires selon la distance et la nature du terrain. Le problème résidait dans la production de ces tables. Chacune nécessitait le calcul de plusieurs centaines à plusieurs milliers de trajectoires distinctes, et chaque trajectoire pouvait exiger des centaines d'opérations complexes, dont de nombreuses multiplications sur des nombres à dix chiffres.

Ce travail, effectué à l'origine par des équipes entières de calculatrices humaines – souvent des femmes diplômées en mathématiques – pouvait s'étendre sur plusieurs semaines, voire plusieurs mois. Ce goulet d'étranglement devint critique, en particulier lorsque les conditions de combat changeaient rapidement.

C'est dans ce contexte qu'apparut l'idée d'automatiser ces calculs par des machines. Aux États-Unis, l'armée chercha également à automatiser le calcul de ses tables de tir d'artillerie. L'amirauté américaine finança ainsi le Harvard Mark I (1944)<sup>1</sup>, un vaste calculateur électromécanique développé par *Howard Aiken* avec l'aide d'IBM, qui fut employé pendant la guerre pour divers calculs balistiques et scientifiques (notamment dans le cadre du projet Manhattan). Mais c'est le projet ENIAC<sup>2</sup> qui marqua l'avènement du calculateur électronique à grande échelle. L'apport de la Seconde Guerre mondiale dans la naissance de l'informatique moderne est

1. Voir page : 70

2. Voir page : 73

donc déterminant. Grâce à la conjonction exceptionnelle de moyens et de compétences provoquée par le conflit, l'idée de « machine à calculer universelle » put se concrétiser. Certes, la plupart des machines conçues pendant la guerre n'étaient pas encore des ordinateurs au sens strict – elles étaient généralement programmées de l'extérieur et dédiées chacune à un problème particulier. Néanmoins, elles posèrent les bases de l'ordinateur électronique polyvalent. Dès la fin du conflit, les principes et enseignements tirés de ces premières réalisations convergèrent, et l'on commença à imaginer des machines stockant leurs programmes en mémoire et capables d'enchaîner des tâches variées. En ce sens, la Seconde Guerre mondiale joua le rôle d'un formidable accélérateur : elle propulsa le calcul automatique de l'ère des inventeurs isolés à celle des grands projets pluridisciplinaires, ouvrant la voie à l'informatique moderne de l'après-guerre. Ce savoir-faire ne resta pas sans suite : l'ENIAC, par exemple, fut immédiatement utilisé après la guerre pour effectuer des calculs liés au développement de la bombe H dans le cadre des programmes nucléaires militaires américains. L'informatique naissante fut ainsi mise au service de la dissuasion nucléaire, confirmant sa place au cœur des enjeux stratégiques de la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle. Aussi spectaculaire soit-il, ce progrès technique ne saurait faire oublier que la guerre reste avant tout un drame humain. Il est profondément regrettable que ce soit dans les périodes de conflit que les budgets les plus importants soient alloués à la recherche scientifique, révélant combien la souffrance peut, paradoxalement, stimuler l'innovation.

## La guerre froide un catalyseur

Après la Seconde Guerre mondiale, la rivalité géopolitique entre les États-Unis et l'Union soviétique, connue sous le nom de guerre froide, a servi de puissant moteur pour l'innovation technologique, en particulier dans le domaine de l'informatique. Aux États-Unis, la crainte d'une attaque aérienne soviétique a conduit au développement du projet SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*)<sup>3</sup>. Ce système, mis en place dans les années 1950, était conçu pour détecter et intercepter les bombardiers ennemis. Il s'appuyait sur un réseau de radars et de centres de calcul interconnectés, utilisant des ordinateurs IBM AN/FSQ-7<sup>4</sup>, considérés comme les plus grands ordinateurs jamais construits. SAGE a non seulement renforcé la défense aérienne américaine, mais a également introduit des concepts clés tels que le traitement en temps réel et les réseaux informatiques, préfigurant ainsi l'Internet moderne. De l'autre côté du rideau de fer, l'Union soviétique

---

3. Voir page : 249

4. Voir page : 82

a également investi massivement dans le développement informatique, en particulier pour soutenir son programme nucléaire. Dans les premières années suivant la guerre, les ingénieurs soviétiques effectuaient des calculs complexes à l'aide de calculatrices manuelles et d'équipes de « calculatrices humaines », principalement composées de femmes. Ce n'est qu'au début des années 1950 que l'URSS a commencé à développer ses propres ordinateurs, tels que le MESM (*Small Electronic Calculating Machine*), opérationnel en 1951. Ces efforts étaient directement motivés par la nécessité de rattraper les avancées technologiques occidentales et de renforcer la sécurité nationale. Ainsi, la guerre froide a agi comme un catalyseur, accélérant le développement et l'adoption de technologies informatiques avancées des deux côtés du conflit, avec des applications allant de la défense nationale à la recherche scientifique.

## Les débuts de l'informatique dans la cryptographie

La cryptographie, l'art de protéger les communications en les rendant inintelligibles aux personnes non autorisées, a évolué au fil des siècles. Avec l'avènement de l'informatique au milieu du xx<sup>e</sup> siècle, la cryptographie a connu des avancées majeures, transformant des techniques manuelles en systèmes électroniques complexes.

Avant l'ère informatique, la cryptographie reposait principalement sur des méthodes manuelles ou mécaniques. L'une des premières machines de chiffrement électromécaniques fut l'**Enigma**, inventée par l'ingénieur allemand *Arthur Scherbius* dans les années 1920. Initialement destinée à un usage commercial, l'Enigma fut rapidement adoptée par les forces armées allemandes. Son système de rotors interchangeables permettait de générer un nombre colossal de combinaisons, rendant théoriquement le déchiffrement sans la clé appropriée extrêmement difficile. Cependant, des failles dans son utilisation et des erreurs opératoires permirent aux cryptanalystes alliés, notamment l'équipe de *Bletchley Park* dirigée par **Alan Turing**, de décrypter une partie significative des communications allemandes, influençant ainsi le cours de la Seconde Guerre mondiale.

La complexité croissante des systèmes de chiffrement et le volume important de messages à analyser nécessitèrent des outils plus puissants que les méthodes traditionnelles. C'est dans ce contexte que furent développés les premiers calculateurs électroniques. Le *Colossus*, mis en service en 1944 au Royaume-Uni, est souvent considéré comme le premier ordinateur électronique programmable. Conçu pour accélérer le déchiffrement des codes allemands, il utilisait des milliers de tubes à vide pour effectuer des opérations logiques à grande vitesse, réduisant considérablement le temps nécessaire

pour analyser les messages chiffrés. Parallèlement aux avancées technologiques, des progrès théoriques majeurs ont jeté les bases de la cryptographie moderne. **Claude Shannon**, mathématicien et ingénieur américain, publia en 1949 « *Communication Theory of Secrecy Systems* », un article fondamental qui formalisa les principes mathématiques de la cryptographie. Shannon y introduisit des concepts clés tels que la confusion et la diffusion, éléments essentiels pour concevoir des systèmes de chiffrement robustes. Son travail établit une distinction claire entre la sécurité théorique et la sécurité pratique des systèmes cryptographiques, influençant durablement le domaine.

Avec l'évolution rapide de l'informatique dans les années 1950 et 1960, les systèmes de chiffrement ont progressivement intégré des composants électroniques, augmentant ainsi leur complexité et leur efficacité. Les ordinateurs permettaient désormais de chiffrer et déchiffrer des messages à des vitesses inégalées, ouvrant la voie à des applications civiles et militaires de plus en plus sophistiquées. Cette période marque le début de la cryptographie moderne, où l'informatique joue un rôle central dans la sécurisation des communications. De nos jours, le chiffrement s'étend à divers domaines comme les transactions financières en ligne, les communications personnelles, le stockage de données sensibles, etc.

## 11.2 L'informatique dans la société civile

### Les jeux vidéo

L'histoire des jeux vidéo débute avant même leur commercialisation. En 1958, *William Higinbotham*, physicien américain, conçoit un jeu interactif nommé **Tennis for Two** pour oscilloscope. Ce jeu rudimentaire simulait une balle rebondissant sur un filet, et utilisait un contrôleur analogique pour interagir avec l'affichage. C'est souvent considéré comme l'un des premiers jeux vidéo interactifs, bien qu'il ait été conçu à des fins de démonstration scientifique.

Dans les années 1960, les premiers jeux informatiques apparaissent dans les universités et les centres de recherche. Le plus emblématique est *Spacewar!*, développé en 1962 par *Steve Russell* au MIT. Il s'agit d'un jeu de combat spatial exécuté sur le *PDP-1*, un ordinateur de recherche coûteux. La décennie suivante voit naître l'industrie du jeu vidéo grand public. En effet en 1972, **Pong** d'Atari est l'un des premiers jeux vidéo d'arcade et le premier à connaître un succès commercial massif. Son créateur un certain *Nolan Bushnell* deviendra le co-créateur de la société Atari.

Les bornes d'arcade se multiplient, et les jeux deviennent un phénomène

culturel et trouve place dans les cafés à côté des billards, baby-foots et flippers. En 1972, sort *Magnavox Odyssey*, première console de salon, conçue par *Ralph Baer*. Affichage très rudimentaire, mais concept révolutionnaire car le jeu s'invite dans le salon.

L'arrivée de consoles à cartouches interchangeables, comme la *Fairchild Channel F* (1976) puis l'*Atari 2600* (1977), marque une étape décisive dans l'histoire du jeu vidéo. Ces systèmes permettent de changer de jeux sans changer de machine, introduisant une modularité technologique et une logique de consommation renouvelée.

L'auteur de ses lignes a découvert les jeux de salon avec le *Philips Videopac* qui est la version européenne de la Magnavox. Fabriquée par Philips, elle a été distribuée sous diverses marques, notamment Radiola, Schneider, Siera, Brandt et Continental Edison, selon les marchés. À cette époque, il était courant que les foyers ne possèdent qu'un seul téléviseur, généralement installé dans le salon. Cette configuration a favorisé l'émergence du terme *jeux de salon*, désignant les jeux vidéo pratiqués dans cette pièce centrale de la maison. Le salon devenait ainsi un lieu de rassemblement familial autour de ces nouvelles formes de divertissement interactif. Les jeux vidéo deviennent alors un bien de consommation grand public. Les foyers s'équipent progressivement, et les jeunes générations découvrent, souvent pour la première fois, une forme d'interactivité numérique.

Cette période marque également les débuts d'un apprentissage implicite de la logique informatique, à travers des jeux éducatifs ou des programmes programmables.

## Quelques consoles de jeux de salon

Il existe une foultitude de consoles de jeux de salon et la liste suivante ne saurait être exhaustive mais essayons de parcourir quelques unes et se replonger pour certain dans cette nostalgie numérique :)

### Magnavox Odyssey

- **Année de sortie :** 1972
- **Caractéristiques :** Première console de jeux vidéo domestique au monde. Elle utilisait des circuits logiques discrets (sans microprocesseur) et des cartes imprimées pour changer de jeu.
- **Impact :** A posé les bases du marché du jeu vidéo domestique. Bien qu'assez rudimentaire, elle a ouvert la voie aux consoles futures.
- **Remarque :** Les graphismes étaient très basiques (carrés blancs sur fond noir), et les décors étaient simulés à l'aide de calques plastiques

transparents à apposer sur l'écran de télévision. Les scores étaient comptés manuellement par les joueurs.



FIGURE 11.1 – Magnavox – Odyssey 1  
Licence : Libre de droits.

## Atari Pong

- **Année de sortie :** 1975
- **Caractéristiques :** Console dédiée, intégrant un seul jeu : *Pong*, une simulation simplifiée de tennis de table. Elle se connectait à un téléviseur via la prise antenne et utilisait deux molettes rotatives pour contrôler les raquettes.
- **Impact :** Premier grand succès commercial pour une console domestique. Elle a permis d'introduire les jeux vidéo dans les foyers, ouvrant la voie à l'industrie des consoles de salon.
- **Remarque :** Cette console est l'adaptation pour le grand public de la borne d'arcade *Pong*, créée par Atari en 1972. Le jeu avait déjà rencontré un immense succès dans les bars et salles d'arcade.

## Fairchild Channel F

- **Année de sortie :** 1976
- **Caractéristiques :** Première console à utiliser des cartouches ROM interchangeables, permettant une bibliothèque de jeux extensible.
- **Impact :** A introduit le concept de cartouches de jeux, révolutionnant la manière de concevoir les consoles.
- **Remarque :** Initialement nommée « Video Entertainment System » (VES), elle a été rebaptisée « Channel F » après la sortie de l'Atari VCS.



FIGURE 11.2 – La Fairchild Channel F.

Auteur : Evan Amos — Travail personnel. Licence : CC BY-SA 3.0 .

### Hanimex-Pong



FIGURE 11.3 – Hanimex / Pong

Auteur : Sébastien Inion. Licence : Libre de droits.

- **Année de sortie :** 1976
- **Caractéristiques :** Consoles de première génération dédiées aux jeux de type « Pong », équipées de manettes détachables et proposant plusieurs variantes de jeux intégrés.

- **Impact** : Ont contribué à populariser les jeux vidéo domestiques en offrant une expérience de jeu simple et accessible.
- **Anecdote** : Certains modèles, comme le Hanimex 7771, permettaient de personnaliser le niveau de difficulté et incluaient des options telles que l'automatisation du service et le comptage des points.

## Atari VCS 2600

- **Année de sortie** : 1977 (sous le nom *Atari Video Computer System*, renommée *Atari 2600* en 1982)
- **Caractéristiques** : Première console à grand succès utilisant des cartouches ROM interchangeables, équipée d'un joystick simple à un bouton, et affichant des graphismes en couleurs sur la télévision.
- **Impact** : Véritable phénomène de société à la fin des années 1970 et au début des années 1980. Elle a contribué à l'essor du marché du jeu vidéo domestique et posé les bases du modèle économique console + cartouches de jeux.
- **Remarque** : Son jeu phare *Space Invaders* (1980) a dopé les ventes de la console. Le design en bois de la première version est devenu emblématique. La console a aussi connu une crise en 1983, liée à une saturation du marché et à la baisse de qualité de certains jeux.

## Philips Videopac G7000



FIGURE 11.4 – Videopac JET 25 Radiola : clone du G7000

Auteur : Sébastien Inion. Licence : Libre de droits.

- **Année de sortie :** 1978
- **Caractéristiques :** Le *C52* est la version française du G7000 pour l’Europe ou encore l’*Odyssee 2* pour les Etats-Unis. On trouve aussi le *videopac Radiola Jet 25* qui est le clone du Philips C52. Cette console de deuxième génération équipée d’un clavier alphanumérique, permettant une interaction plus poussée avec certains jeux et applications éducatives.
- **Impact :** A offert une alternative aux consoles dominantes de l’époque, notamment l’Atari 2600, en proposant une approche éducative et ludique grâce à son clavier intégré.
- **Anecdote :** La console a été commercialisée sous différentes marques en Europe, telles que Radiola Jet 25 et Schneider 7000, en fonction des marchés locaux.

## Nintendo Game & Watch

- **Année de sortie :** 1980
- **Caractéristiques :** Série de consoles portables avec un jeu intégré, utilisant des écrans à cristaux liquides (LCD).
- **Impact :** A popularisé le jeu portable et introduit la croix directionnelle, devenue standard dans l’industrie.
- **Anecdote :** Le créateur Gunpei Yokoi a eu l’idée en observant un homme s’amusant avec sa calculatrice pendant un trajet en train.

## Atari 5200

- **Année de sortie :** 1982
- **Caractéristiques :** Console de deuxième génération conçue pour succéder à l’Atari 2600, équipée d’un processeur 8 bits 6502C à 1,79 MHz, de 16 Ko de RAM et d’une palette de 256 couleurs (16 affichables simultanément). Les manettes comportaient un joystick analogique, un clavier numérique et des boutons de fonction (Start, Pause, Reset).
- **Impact :** Destinée à concurrencer des systèmes comme l’Intellivision de Mattel et le ColecoVision, l’Atari 5200 n’a pas rencontré le succès escompté, en partie à cause de la crise du jeu vidéo de 1983 et de problèmes liés à la conception de ses manettes.
- **Remarque :** Les manettes de l’Atari 5200 étaient innovantes avec leur joystick analogique, mais leur manque de fiabilité et l’absence de recentrage automatique ont été largement critiqués, affectant négativement l’expérience utilisateur.

## Sega Master System

- **Année de sortie :** 1985
- **Caractéristiques :** Console 8 bits offrant des graphismes et un son de haute qualité, avec des jeux comme « Alex Kidd in Miracle World ».
- **Impact :** A établi Sega comme un concurrent sérieux de Nintendo sur le marché des consoles de salon.
- **Remarque :** En Europe et au Brésil, la Master System a connu un succès plus important que la NES, notamment grâce à une distribution efficace et à une bibliothèque de jeux adaptée aux marchés locaux.

## Atari 7800 ProSystem

- **Année de sortie :** 1986
- **Caractéristiques :** Console de troisième génération, rétrocompatible avec les jeux de l'Atari 2600. Elle intègre un processeur 6502C à 1,79 MHz, 4 Ko de RAM, et le processeur graphique MARIA capable d'afficher jusqu'à 100 sprites simultanément avec une palette de 256 couleurs. Les manettes sont numériques avec deux boutons d'action.
- **Impact :** L'Atari 7800 a tenté de redonner à Atari une position dominante sur le marché des consoles, en concurrence avec la Nintendo Entertainment System (NES) et la Sega Master System. Sa rétrocompatibilité avec l'Atari 2600 a été un atout majeur, mais elle n'a pas réussi à s'imposer face à ses concurrentes en raison d'un manque de soutien des développeurs tiers et d'une bibliothèque de jeux limitée.
- **Remarque :** Initialement prévue pour être lancée en 1984, sa sortie a été retardée en raison de la crise du jeu vidéo de 1983 et de la restructuration d'Atari. Lors de sa sortie en 1986, le marché était déjà dominé par Nintendo et Sega, limitant ainsi l'impact de l'Atari 7800.

## Atari Jaguar

- **Année de sortie :** 1993
- **Caractéristiques :** Console de cinquième génération, commercialisée comme la première console 64 bits, équipée de deux coprocesseurs RISC 32 bits nommés Tom et Jerry, ainsi que d'un processeur Motorola 68000. Elle proposait des graphismes avancés pour l'époque

et un son de haute qualité.

- **Impact :** Malgré des spécifications techniques prometteuses, la Jaguar a souffert d'un manque de soutien des développeurs tiers, d'une architecture complexe et d'une bibliothèque de jeux limitée, ce qui a conduit à des ventes décevantes et à l'échec commercial de la console.
- **Remarque :** La manette de la Jaguar était notable pour son pavé numérique à 12 boutons, permettant des interactions plus complexes dans les jeux.

## Sony PlayStation

- **Année de sortie :** 1994
- **Caractéristiques :** Console 32 bits utilisant des CD-ROM, offrant des graphismes 3D avancés et une vaste bibliothèque de jeux.
- **Impact :** A établi Sony comme un leader de l'industrie du jeu vidéo et popularisé les jeux sur CD-ROM.
- **Anecdote :** La PlayStation est née d'un partenariat avorté entre Sony et Nintendo pour développer un lecteur CD pour la Super Nintendo.

## Microsoft Xbox

- **Année de sortie :** 2001
- **Caractéristiques :** Première console de Microsoft, dotée d'un disque dur interne et d'un service en ligne dédié, Xbox Live.
- **Impact :** A introduit le jeu en ligne sur console à grande échelle et établi Microsoft comme un acteur majeur de l'industrie.
- **Remarque :** Le jeu « Halo : Combat Evolved » est devenu une franchise emblématique et a contribué au succès de la console.

## Nintendo Switch

- **Année de sortie :** 2017
- **Caractéristiques :** Console hybride pouvant être utilisée comme console de salon ou portable, avec des manettes détachables appelées Joy-Con.
- **Impact :** A redéfini la flexibilité du jeu vidéo et rencontré un succès commercial mondial.
- **Anecdote :** Le jeu « *The Legend of Zelda : Breath of the Wild* » est sorti en même temps que la console et est considéré comme l'un des meilleurs jeux de tous les temps.

## Sony PlayStation 5

- **Année de sortie :** 2020
- **Caractéristiques :** Console de neuvième génération offrant des graphismes en 4K, un SSD ultra-rapide et une nouvelle manette avec retour haptique.
- **Impact :** A continué de consolider la position de Sony sur le marché des consoles haut de gamme.
- **Anecdote :** La demande élevée et les problèmes de chaîne d'approvisionnement ont rendu la PS5 difficile à obtenir pendant les premiers mois suivant sa sortie.

## Microsoft Xbox Series X

- **Année de sortie :** 2020
- **Caractéristiques :** Console de neuvième génération avec des performances élevées, un support pour le ray tracing et une rétrocompatibilité étendue.
- **Impact :** A renforcé la présence de Microsoft sur le marché des consoles et mis l'accent sur les services tels que le Xbox Game Pass.
- **Anecdote :** Son design en forme de tour a été comparé à celui d'un réfrigérateur, inspirant la création d'un mini-réfrigérateur officiel Xbox Series X.

Par ailleurs, les jeux vidéo ne se limitent pas aux consoles. Les micro-ordinateurs comme le *Commodore 64*, l'*Amstrad CPC*, ou encore l'*Apple II* offrent eux aussi des expériences vidéoludiques variées, souvent plus complexes et orientées vers des utilisateurs technophiles. Cela élargit encore davantage la portée du jeu numérique, en l'inscrivant également dans le champ de l'informatique personnelle.

## L'informatique à la maison

Jusqu'aux années 1970, l'informatique est réservée aux grandes entreprises et aux centres de recherche, avec des ordinateurs coûteux et encombrants. L'apparition du microprocesseur dans les années 1970 change la donne en permettant la création de micro-ordinateurs plus compacts et abordables. Le premier micro-ordinateur grand public est l'*Altair 8800* (1975), proposé en kit pour environ 400 dollars. Son succès marque le début de l'ère de la micro-informatique. Rapidement, en 1977, trois modèles emblématiques apparaissent : l'*Apple II*, le *Commodore PET 2001* et le

TRS-80, formant la « Trinité de 1977 ». Ces ordinateurs domestiques démocratisent l'accès à l'informatique pour le grand public, notamment les adolescents, et popularisent des usages variés, du jeu vidéo à la gestion personnelle. Le Commodore 64, lancé en 1982, devient l'ordinateur personnel le plus vendu de l'histoire avec plus de 12 millions d'exemplaires. L'importance croissante de l'informatique personnelle est symbolisée en 1982 lorsque le magazine *Time* désigne l'ordinateur personnel comme « Machine of the Year », une reconnaissance inédite qui montre l'impact durable de l'informatique à la maison.

### **11.3 La révolution d'Internet et l'économie numérique (1980-2000)**

#### **Le commerce électronique**

Le commerce électronique, ou e-commerce, désigne l'ensemble des transactions commerciales réalisées par le biais d'Internet. Son émergence dans les années 1990 a révolutionné la manière de consommer, offrant aux entreprises une vitrine mondiale et aux consommateurs un accès immédiat aux produits. Le premier achat en ligne enregistré remonte à 1994, lorsqu'un CD de Sting fut vendu sur la plateforme NetMarket. Cet événement symbolise le passage de la théorie à la pratique et marque le début de l'ère du commerce en ligne. Quelques années plus tard, des géants comme *Amazon* (1994) et *eBay* (1995) commencent à façonner l'économie numérique en proposant un large éventail de biens directement accessibles depuis un simple navigateur.

Les années 2000 voient l'explosion des plateformes de vente en ligne, soutenues par des systèmes de paiement sécurisés comme *PayPal*, et des protocoles de chiffrement garantissant la confidentialité des transactions. Parallèlement, le développement de la logistique permet des livraisons rapides et fiables, renforçant l'attrait du commerce en ligne. Une anecdote célèbre montre la puissance du modèle : en 1999, alors que beaucoup doutaient de la viabilité d'*Amazon*, son fondateur *Jeff Bezos* expédia lui-même les premiers livres depuis son garage, illustrant l'esprit pionnier du e-commerce qu'on a déjà vu lors des débuts de la micro-informatique.

Aujourd'hui, le commerce électronique est devenu incontournable, représentant une part croissante des ventes mondiales et influençant les modes de consommation par l'accès aux produits et services à toute heure, partout dans le monde.

## Implications sociales de l'accès à Internet

L'accès à Internet a profondément transformé les interactions sociales et les modes de vie. Dès les années 1990, l'apparition du Web et la démocratisation de l'Internet domestique ont permis aux individus de communiquer à l'échelle mondiale, rompant avec les barrières géographiques. Internet a facilité l'accès à l'information et à l'éducation, mais a également introduit de nouvelles problématiques, notamment l'exposition aux fake news et aux contenus inappropriés. La propagation rapide de l'information rend parfois difficile la vérification des sources, créant des risques de désinformation.

Sur le plan social, Internet a favorisé l'émergence de communautés virtuelles et de réseaux sociaux, offrant aux utilisateurs la possibilité de se regrouper autour de centres d'intérêt communs. Cependant, cette hyperconnexion a aussi conduit à une dilution des interactions physiques et à un risque d'isolement social pour certaines personnes. Une anecdote révélatrice est celle de l'apparition des premiers forums en ligne dans les années 1990. Des communautés comme *Usenet* sont devenues des espaces d'échange intenses, révélant l'importance des débats en ligne, mais aussi les premières tensions liées à la liberté d'expression.

Aujourd'hui, la fracture numérique reste un enjeu majeur, les inégalités d'accès à Internet perpétuant des disparités sociales et économiques. Malgré cela, Internet continue de remodeler les interactions humaines en offrant des possibilités sans précédent pour l'expression individuelle et collective.

## Le darkweb

Le darkweb est souvent confondu avec le *deepweb*, bien qu'ils soient distincts. Le deepweb désigne l'ensemble des contenus en ligne non indexés par les moteurs de recherche classiques, tels que les bases de données privées, les messageries ou les contenus protégés par mot de passe. À l'inverse, le darkweb représente une partie intentionnellement cachée du web, accessible uniquement via des logiciels spécifiques comme **Tor**.

Le darkweb est souvent associé aux activités illégales, notamment les marchés noirs en ligne tels que *Silk Road*, fermé en 2013 par le FBI. Ce site permettait l'achat anonyme de produits illicites en utilisant des cryptomonnaies, illustrant l'anonymat offert par cette partie de l'Internet. Cependant, réduire le darkweb à des pratiques criminelles serait réducteur. Il offre également un espace de liberté d'expression pour les dissidents politiques ou les lanceurs d'alerte, notamment dans des régimes autoritaires. Par exemple, des plateformes comme *SecureDrop* permettent aux journalistes de recevoir des informations de manière sécurisée.

Bien que controversé, le darkweb reflète les défis éthiques posés par

l'anonymat en ligne. Son usage peut autant servir la liberté que la criminalité, rendant son encadrement juridique délicat.

## 11.4 Internet au 21<sup>e</sup> siècle

### L'ère des réseaux sociaux et la connectivité mobile

L'ère des réseaux sociaux et de la connectivité mobile commence au début des années 2000 avec l'essor des téléphones portables intelligents et des plateformes de partage en ligne. L'apparition de *MySpace* (2003), *Facebook* (2004) et *Twitter* (2006) transforme radicalement la manière de communiquer, favorisant les échanges instantanés et les interactions globales. La démocratisation des smartphones, avec l'iPhone d'Apple en 2007, marque une rupture en offrant un accès permanent aux réseaux sociaux. Les utilisateurs partagent désormais en temps réel des informations personnelles, des opinions ou des contenus multimédias. La connectivité mobile fait émerger une culture numérique fondée sur l'instantanéité.



FIGURE 11.5 – Mark Elliot Zuckerberg principal fondateur de Facebook

Cependant, cette hyperconnexion a aussi ses revers. Les questions de protection des données personnelles et d'addiction aux écrans apparaissent rapidement comme des problématiques sociétales majeures. En 2018, le scandale Cambridge Analytica, révélant l'exploitation des données personnelles de millions d'utilisateurs de Facebook, met en lumière les dangers liés à la collecte massive de données. Une anecdote révélatrice est celle de la première élection présidentielle américaine influencée par les réseaux sociaux en 2008, où *Barack Obama* mobilise sa base électorale via Facebook et Twitter, montrant l'impact direct des réseaux sur la sphère politique. Aujourd'hui, les réseaux sociaux sont omniprésents et façonnent en profondeur les rapports humains, les interactions sociales et même la vie politique, confirmant leur rôle central dans la société contemporaine.

## L'économie numérique des données et de l'I. A.

L'économie numérique contemporaine repose largement sur l'exploitation des données et l'intelligence artificielle (I. A.). Dès les années 2010, la multiplication des objets connectés et des plateformes numériques entraîne une production massive de données, considérées comme le nouvel or noir de l'ère numérique. Les grandes entreprises du numérique, telles que Google, Amazon, Facebook et Apple (souvent désignées par l'acronyme GAFA), capitalisent sur la collecte et l'analyse des données pour proposer des services personnalisés et cibler la publicité. L'I. A., notamment via les algorithmes d'apprentissage automatique (machine learning), permet de traiter ces informations en masse et d'en extraire des modèles prédictifs. L'utilisation des données pose néanmoins des questions éthiques et juridiques. La réglementation européenne avec le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) en 2018 illustre la volonté de protéger la vie privée des utilisateurs face à l'exploitation commerciale de leurs informations personnelles. Une anecdote significative est celle du chatbot Tay de Microsoft, lancé en 2016 et rapidement détourné par les internautes, montrant les risques d'entraîner des modèles I. A. avec des données biaisées ou toxiques. Aujourd'hui, l'économie numérique est marquée par un équilibre fragile entre innovation technologique et protection des droits individuels, rappelant l'importance d'un encadrement juridique adapté aux avancées de l'I. A.



## CHAPITRE 12

### L'ÉVOLUTION DE LA COMMUNICATION

*La communication à distance dans les films de science-fiction est un thème récurrent, souvent exploré à travers des technologies permettant aux personnages d'échanger des informations malgré des distances inimaginables, qu'elles soient spatiales, temporelles ou même dimensionnelles. Dans l'univers de Star Trek, par exemple, la communication subspatiale fait appel à des particules hypothétiques (comme les tachyons) capables de dépasser la vitesse de la lumière, permettant une transmission instantanée de messages à travers l'espace. Cependant, en regardant l'histoire de l'humanité, on observe que cette préoccupation est relativement récente. Mis à part les signaux de fumée des Indiens d'Amérique du Nord et l'usage des tambours, formes anciennes de communication reposant sur des moyens naturels, peu de méthodes permettaient d'atteindre de longues distances avant l'invention de l'imprimerie, et surtout du télégraphe. La maîtrise de l'électricité et son utilisation pour transmettre des signaux allaient révolutionner cette quête, permettant une communication à l'échelle mondiale et même depuis la Lune.*

## 12.1 L'imprimerie

Depuis l'Antiquité, les civilisations cherchent à conserver et diffuser les textes. Avant l'imprimerie, en Europe médiévale, la reproduction des livres reposait sur les moines copistes qui recopiaient patiemment chaque ouvrage à la main. Ce procédé était lent et coûteux, réservant le savoir écrit à une élite. Cependant, dès le II<sup>e</sup> siècle ap. J.-C., l'*impression* par gravure sur bois est pratiquée en Chine, facilitée par l'invention du papier au 105 apr. J.-C.

Par la suite, des expérimentations asiatiques aboutissent dès le XIV<sup>e</sup> siècle à l'utilisation de caractères métalliques mobiles moulés pour imprimer des textes.

En Europe, au XV<sup>e</sup> siècle, la demande en livres augmente grâce à l'essor des universités et des bibliothèques ; des méthodes d'impression rudimentaires (xylographie) apparaissent, consistant à graver chaque page sur une planche de bois puis à l'encre. Ces prémissives annoncent le besoin d'une technique plus efficace pour répondre à la soif de connaissances de la Renaissance.

Vers 1440, Johannes Gutenberg, originaire de Mayence en Allemagne, met au point la première imprimerie à caractères mobiles en Occident. Formé comme orfèvre, Gutenberg exploite son savoir-faire du métal pour créer des caractères individuels en alliage de plomb, d'étain et d'antimoine, qu'il coule dans des moules gravés au poinçon. Ces caractères métalliques sont réutilisables et interchangeables, permettant de composer rapidement des pages de texte. Gutenberg conçoit également une presse à bras inspirée des pressoirs à vin, équipée d'un chariot mobile sur lequel est fixée la feuille de papier et d'une vis permettant d'exercer une pression uniforme. L'encre qu'il emploie est à base d'huile, plus épaisse et adhérente que les encres à l'eau, ce qui garantit une meilleure imprégnation des caractères sur le papier. L'ensemble de ce dispositif technique forme une innovation cohérente : pour la première fois en Europe, il devient possible de reproduire un texte en série de manière rapide et relativement peu coûteuse, sans re-saisir manuellement chaque ligne.

L'imprimerie a provoqué une révolution de la communication qui préfigure certains aspects de l'informatique moderne. En multipliant les copies identiques d'un document, Gutenberg a introduit la notion de *reproductibilité de l'information* à grande échelle. Cette standardisation du texte et du savoir a favorisé l'uniformisation des langues écrites et la diffusion accélérée des idées scientifiques. Sans l'imprimerie, les connaissances en mathématiques, en physique ou en logique se seraient propagées bien plus lentement, retardant d'autant les progrès ayant conduit aux premiers calculateurs mécaniques puis aux ordinateurs. De plus, le principe même de manipuler

des « caractères » individuels pour coder un message préfigure, de façon symbolique, le traitement de l'information par des unités discrètes (bits) en informatique. En permettant l'accès du plus grand nombre aux livres, l'imprimerie a ainsi jeté les bases culturelles et éducatives indispensables à l'émergence de l'informatique, science de l'information par excellence.

## 12.2 Le télégraphe

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, communiquer rapidement à longue distance restait un défi. La seule méthode disponible était le *télégraphe optique* inventé par Claude Chappe en 1794 : un système de sémaphores (bras articulés au sommet de tours) relayant des signaux visuels de colline en colline. Ce réseau visuel, utilisé notamment en France napoléonienne, était toutefois limité par la visibilité et ne pouvait fonctionner de nuit ou par mauvais temps. L'avènement de l'électricité et les découvertes en électromagnétisme (Oersted en 1820, Ampère en 1822) suggèrent la possibilité d'envoyer des signaux électriques le long de fils conducteurs. Plusieurs inventeurs en Europe expérimentent alors des dispositifs de *télégraphie électrique*. En 1837, l'Anglais William F. Cooke et le scientifique Charles Wheatstone installent une ligne à aiguilles déflectrices sur une voie ferrée britannique, tandis qu'aux États-Unis l'artiste Samuel Morse, avec l'aide d'Alfred Vail, met au point un télégraphe simple à un fil et une clé d'émission. Morse développe également un code de points et traits représentant les lettres de l'alphabet (on retrouve déjà l'aspect binaire de l'information puisque 2 symboles suffisent), le fameux *code Morse*.

L'inauguration du premier télégraphe électrique commercial eut lieu le 24 mai 1844 aux États-Unis : ce jour-là, Samuel Morse transmit depuis le Capitole à Washington jusqu'à Baltimore un message resté célèbre, « *What hath God wrought* » – « Quelles merveilles Dieu a accomplies – sur une cinquantaine de kilomètres de fil.

Le succès fut retentissant et convainquit le public de l'utilité du télégraphe. En 1858, un câble sous-marin fut pour la première fois posé à travers l'océan Atlantique, reliant l'Europe et l'Amérique. La reine Victoria d'Angleterre échangea alors avec le président américain James Buchanan des messages de courtoisie<sup>1</sup>. L'événement souleva un immense enthousiasme des deux côtés de l'Atlantique, bien que le câble initial fût de courte durée.

---

1. Le 16 août 1858, après l'installation du premier câble transatlantique, un message de jubilation (« L'Europe et l'Amérique sont unies par la télégraphie... ») fut envoyé d'Irlande au Canada, suivi d'un télégramme de la reine Victoria au président Buchanan. Malheureusement, ce premier câble cessa de fonctionner au bout de quelques semaines, faute de fiabilité technique. Il fallut le remplacer en 1866 par un câble durable.

Par la suite, le réseau télégraphique mondial ne cessa de s'étendre : à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, on pouvait envoyer un *telegramme* depuis presque n'importe quelle grande ville du globe, et recevoir la réponse dans la journée.

## 12.3 Le téléphone

Après le succès du télégraphe pour transmettre des textes, le XIX<sup>e</sup> siècle voit naître l'idée de transporter non plus seulement des messages codés, mais la voix humaine elle-même sur de longues distances. Dès les années 1850, des inventeurs cherchent à convertir les ondes sonores en signaux électriques. En 1854, le Français Charles Bourseul évoque dans un article le concept d'un appareil qui « parle » à distance en vibrant au rythme de la voix. L'Italien Antonio Meucci réalise dans les années 1860 un dispositif rudimentaire de communication vocale entre deux pièces de sa maison<sup>2</sup>. Néanmoins, c'est l'Écossais Alexander Graham Bell, installé aux États-Unis, qui parvient le premier à faire breveter un *téléphone* fonctionnel en 1876. Il devance de peu un autre inventeur, Elisha Gray, qui travaillait sur une idée similaire. Le contexte d'invention est celui des expositions universelles et de l'essor industriel : le téléphone est présenté comme une curiosité scientifique avant de rapidement trouver des applications pratiques.

Le téléphone de Bell utilise un principe simple : un microphone à membrane transforme les vibrations sonores de la voix en variations d'un courant électrique continu, qui sont acheminées par un fil jusqu'à un récepteur où ces variations recréent des vibrations sonores. Concrètement, Bell employa dans son premier appareil un *transmetteur* à eau (un mince diaphragme relié à un contact dans de l'eau acidulée) : les vibrations de la voix modulent la résistance électrique dans le liquide, convertissant les ondes sonores en ondes électriques. Au bout du fil, un *récepteur* à électro-aimant et membrane métallique reconvertis ces ondes électriques en son audible. Très vite, ce transmetteur expérimental fut remplacé par un microphone à granules de carbone (inventé par Edison) beaucoup plus efficace. Le téléphone nécessite également un circuit local (entre deux combinés) et plus tard un réseau commuté pour relier n'importe quel abonné à un autre via des centraux. À partir des années 1880, des standards manuels relient les appels, remplacés au début du XX<sup>e</sup> siècle par des commutateurs automatiques (le système à relais de Strowger, 1891). Techniquement, la téléphonie invente la transmission bi-directionnelle de la voix en temps réel, grâce à des paires

---

2. Antonio Meucci (1808-1889) conçut un « télégraphe parlant » dès 1857, mais faute de moyens financiers il ne put déposer de brevet. Ce n'est qu'en 2002 que le Congrès des États-Unis a officiellement reconnu sa contribution à l'invention du téléphone.

de fils et à l'utilisation de courants alternatifs pour porter le signal vocal.

Le téléphone a rapproché les humains en abolissant la distance dans la communication vocale, mais son impact dépasse la voix : il a fourni l'infrastructure de base sur laquelle s'est construite la communication de données du XX<sup>e</sup> siècle. D'abord, le principe de la commutation (établir temporairement un circuit direct entre deux points)<sup>3</sup> a influencé l'architecture des réseaux informatiques, notamment la notion de commutation de paquets en réaction aux limites de la commutation de circuits. Surtout, le vaste réseau téléphonique filaire mis en place pour la voix a servi de support au transport de données informatiques : les premiers modems, apparus dans les années 1950, permettaient à des ordinateurs de communiquer via les lignes téléphoniques en convertissant les bits en sons audibles. L'ARPANET elle-même utilisa au départ des lignes téléphoniques louées pour relier ses premiers noeuds en 1969. Plus tard, dans les années 1980-1990, ce sont les modems grand public sur le réseau téléphonique qui ont offert l'accès à Internet à des millions d'utilisateurs. Par ailleurs, la recherche en téléphonie a produit des avancées théoriques fondamentales pour l'informatique : ainsi, la théorie de l'information de Claude Shannon (1948) est née chez Bell Labs pour optimiser le codage des signaux téléphoniques sur les lignes. En somme, le téléphone, en connectant le monde par la voix, a pavé la voie aux réseaux numériques en fournissant à la fois une infrastructure matérielle et des concepts (commutation, signal analogique/numérique) réutilisés par l'informatique communicante.

## 12.4 La télévision

Après les signaux, après la voix, il semblait naturel de vouloir transmettre des images animées à distance. Ceci est un rêve né au tournant du XX<sup>e</sup> siècle, dans le sillage de l'invention de la radio et du cinéma. Le mot « télévision » (du grec *télé*, loin, et du latin *visio*, vision) apparaît dès les années 1900 pour décrire ce concept. Plusieurs voies techniques sont explorées pour *voir à distance*. Une première approche, dite *mécanique*, utilise un disque tournant perforé de trous en spirale (le *disque de Nipkow*, breveté en 1884) pour analyser et reproduire point par point une image. Après de nombreux essais, c'est un ingénieur écossais, *John Logie Baird*, qui parvient à réaliser la première démonstration publique de télévision le 26 janvier 1926 à Londres. Le système de Baird, encore rudimentaire, produisait des images

---

3. Les premiers ordinateurs, comme le Z3 de Zuse ou le Harvard Mark I, utilisaient eux aussi des commutateurs électromécaniques (relais) pour acheminer les signaux de calcul ou réaliser les opérations logiques.

de 30 lignes seulement, en tons de gris orangé, éclairées par un néon. En parallèle, aux États-Unis et en Russie, d'autres chercheurs travaillent sur la télévision. Mais très vite se dessine la nécessité d'un système entièrement *électronique* pour gagner en définition et en fiabilité, en remplaçant les éléments mécaniques par le balayage d'un faisceau cathodique.

La télévision électronique repose sur deux inventions complémentaires : la caméra à tube analyseur et le tube cathodique d'affichage. En 1927, le jeune inventeur américain *Philo T. Farnsworth* réalise la première transmission d'une image entièrement électronique : il parvient à capturer une image au moyen de son tube *image dissector* (analyseur d'image) et à la reconstruire sur un écran cathodique. De son côté, l'ingénieur russe *Vladimir Zworykin*, travaillant pour la firme américaine RCA, développe à partir de 1929 le tube *Iconoscope* (première caméra électronique) et le tube *Kinescope* pour l'affichage. Le principe technique est le suivant : une scène filmée est convertie en un signal électrique représentant la luminosité point par point, ligne par ligne. Pour cela, la caméra balaie l'image ligne après ligne (comme on lit un texte) et transforme l'intensité lumineuse de chaque point en une tension électrique correspondante. Ce signal électrique, une fois amplifié, est envoyé en temps réel par voie hertzienne (ondes radio) ou par câble jusqu'au récepteur. Le téléviseur récepteur contient un tube cathodique où un faisceau d'électrons, modulé par le signal, balaye un écran enduit de phosphore synchrone au balayage de la caméra, reproduisant l'image originale point par point. Ce procédé exige une synchronisation précise entre l'émetteur et le récepteur (gérées par des signaux de synchronisation insérés dans le flux). Au fil des années 1930, la définition passe de 30 lignes à 240 lignes, puis 405 lignes (standard anglais de 1936) et 441 puis 525 lignes (standards américain et allemand vers 1938). La télévision devient ainsi un véritable système : caméras, émetteurs, récepteurs domestiques, le tout formant un réseau de diffusion d'images animées.

La télévision a contribué au développement de l'électronique et a fourni à l'informatique naissante des technologies cruciales. En premier lieu, le tube cathodique, perfectionné pour l'affichage télévisuel, a été réutilisé dans les premiers ordinateurs : dès 1947, l'anglais Freddie Williams montra qu'on pouvait mémoriser des bits en piquant un tube cathodique (la mémoire dite « Williams Tube »)<sup>4</sup>. De même, l'ordinateur Whirlwind (1951) au MIT fut l'un des premiers à intégrer un écran cathodique pour afficher graphiquement des données, technologie directement issue des radars et téléviseurs de l'époque. Sans la télévision, l'essor de l'*interface graphique* en informatique

---

4. La mémoire « tube de Williams », mise au point en 1947-1948, utilisait l'écran d'un tube cathodique pour stocker des informations binaires sous forme de charges électriques, constituant l'une des premières mémoires vives des ordinateurs.

aurait été retardé : les moniteurs d'ordinateurs, qu'il s'agisse des terminaux verts des années 1970 ou des écrans couleur VGA des années 1980, sont des descendants directs des récepteurs de télévision. Par ailleurs, la diffusion d'images animées a préfiguré un aspect de l'informatique moderne : le multimédia. Les ordinateurs et les réseaux d'aujourd'hui véhiculent du contenu vidéo et audio en masse, dans la continuité de ce que la télévision avait initié par voie hertzienne. Enfin, le média télévisuel a habitué le grand public à recevoir de l'information en temps réel, préparant les mentalités à l'idée que des « réseaux » (télévision, puis Internet) puissent connecter le monde en diffusant instantanément des données.

## 12.5 L'imprimante

Bien après *Johannes Gutenberg*, mais bien avant l'écran, le papier a été le support de sortie privilégié dans les systèmes d'information. Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, avec l'essor de la mécanographie (machines à cartes perforées de Hollerith), des dispositifs d'impression automatique voient le jour pour éditer les résultats des tabulations. Les premières imprimantes mécaniques apparaissent ainsi rattachées aux machines comptables : l'américain *Herman Hollerith*, qui automatisa le recensement de 1890, utilise un cadran imprimant les totaux, et en 1914 *James Powers* introduit une véritable imprimante alphanumérique couplée à sa tabulatrice.

Mais déjà au XIX<sup>e</sup> siècle : le mathématicien *Charles Babbage*, en concevant sa machine analytique vers 1835, avait imaginé un module d'impression automatique pour éditer les résultats, afin d'éviter les erreurs de re-copie humaine. Son amie *Ada Lovelace* décrit ainsi comment la machine pourrait imprimer des tableaux entiers sans intervention manuelle<sup>5</sup>. Malheureusement, la machine de Babbage ne fut jamais achevée, mais son idée d'imprimante se concrétisera un siècle plus tard.

Les premières imprimantes informatiques ne peuvent d'abord imprimer que des chiffres, puis progressivement des lettres majuscules. Dans les années 1930, des modèles à tambour, à chaîne ou à roue augmentent la vitesse d'impression (plus de 100 lignes par minute) et la qualité. Par exemple, en 1934 la société CMB en France atteint le record de 150 lignes/minute avec son imprimante.

Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, avant l'avènement des écrans, tout calculateur

5. Babbage avait prévu une sortie imprimée de sa machine analytique, avec un mécanisme pour composer des chiffres sur du papier. Ada Lovelace écrivait en 1843 que la machine pourrait « imprimer ses résultats » directement, un concept visionnaire pour l'époque.

électronique s'accompagne d'une imprimante ou d'un téléimprimeur pour restituer les données de sortie sous forme lisible.

En 1953, l'ordinateur *Univac 1* fut livré avec une imprimante rapide capable de 600 lignes/minute – un exploit pour l'époque. Le bruit des imprimantes à impact était assourdissant : dans les centres de calcul, elles étaient souvent enfermées dans des caissons insonorisés tant leur crissement était intense en fonctionnement.

Finalement l'imprimante est un périphérique électromécanique capable de produire sur papier le contenu numérique traité par un ordinateur. Historiquement, les premières étaient des imprimantes à *impact*, dérivées du mécanisme des machines à écrire. On peut distinguer plusieurs types : les imprimantes à barres porte-caractères (chaque colonne de la matrice de caractères est soulevée pour imprimer une ligne), rapidement supplantées par les imprimantes à tambour ou à chaîne, où l'ensemble des caractères est monté sur un cylindre ou une chaîne tournante ; une ligne de marteaux frappe le papier contre le cylindre au moment précis où le caractère voulu passe, imprimant ainsi simultanément tous les caractères d'une ligne. Ces *imprimantes ligne* furent omniprésentes dans les centres informatiques des années 1950-1970, avec des vitesses atteignant 1000 lignes/min. Parallèlement, les *téléimprimeurs* (ou télécriteurs) – des terminaux dotés d'un clavier et d'une imprimante matricielle – permettaient de dialoguer avec les ordinateurs à distance via les lignes téléphoniques, fusionnant les fonctions d'entrée et sortie : l'utilisateur tapait des commandes et recevait les réponses imprimées sur rouleau de papier.

À partir de la fin des années 1960, de nouvelles technologies d'impression émergent : l'imprimante *matricielle* (à aiguilles formant les caractères par une matrice de points) comme l'EP-101 d'Epson en 1968, puis l'imprimante *laser* inventée en 1971 chez Xerox<sup>6</sup>.

Les *imprimantes thermiques* (début des années 1970), quant à elles, utilisent une tête chauffante pour noircir sélectivement un papier thermo-sensible — une technologie répandue dans les terminaux de paiement, les tickets de caisse ou les télécopieurs.

S'y ajoutent dans les années 1970-80 les imprimantes *jet d'encre* pulvérisant de fines gouttelettes d'encre. Toutes ces innovations techniques ont eu pour objectif d'améliorer la vitesse, la qualité (résolution, couleurs) et le coût d'impression, accompagnant l'informatisation croissante.

---

6. L'imprimante laser doit sa genèse à l'initiative de Gary Starkweather qui travaillait chez Xerox et parvint à « faire dessiner » numériquement des pages complètes par un faisceau laser en 1971

## 12.6 Le réseau SAGE

Au début de la Guerre froide, vers 1950, les États-Unis font face à la menace des bombardiers stratégiques soviétiques pouvant lancer une attaque nucléaire. La détection d'avions ennemis repose sur des radars dispersés sur le territoire nord-américain, mais comment analyser rapidement ces données et coordonner la défense (avions intercepteurs, missiles anti-aériens) en cas d'attaque surprise ? C'est pour répondre à ce défi qu'est conçu le système SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*). Initié en 1952 par l'US Air Force en collaboration avec le MIT, SAGE vise à interconnecter des stations radar à un réseau de centres de contrôle régionaux dotés d'ordinateurs capables de traiter en temps réel l'information aérienne. Le contexte est celui d'un effort technologique sans précédent, s'inspirant des avancées du calculateur Whirlwind du MIT (un ordinateur expérimental qui, dès 1951, affichait sur écran les positions d'avions détectés par radar). SAGE bénéficie d'un budget quasi illimité de la part du Pentagone, dans un climat d'urgence où la supériorité technologique était vue comme vitale.

SAGE est à la fois un réseau informatique et un système d'arme. Il se compose de 23 centres de direction régionaux, reliés par des lignes téléphoniques dédiées à des dizaines de sites radar et bases aériennes. Au cœur de chaque centre, un énorme ordinateur central IBM AN/FSQ-7 occupe un étage entier. Cet ordinateur, à tubes à vide et mémoire à tores de ferrite, est redondant (deux machines fonctionnant en parallèle pour pallier les pannes). Il intègre des modems pour recevoir les données radar en provenance des stations éloignées, et des centaines de connexions vers des consoles opérateur. Sur ces consoles, les contrôleurs voient s'afficher une carte radar du ciel en temps réel, projetée sur un écran circulaire. Ils peuvent interagir au moyen d'un pistolet lumineux (light gun) pour sélectionner une cible à l'écran – l'une des premières interfaces homme-machine graphiques. Une fois une trace d'avion suspect sélectionnée, l'ordinateur calcule sa trajectoire, l'identifie éventuellement (via des codes IFF) et peut suggérer des actions (par exemple, guider un intercepteur). Le système fonctionne quasiment en temps réel grâce à une puissance de calcul inédite : chaque AN/FSQ-7 contient près de 50 000 tubes électroniques et pèse 250 tonnes, fournissant une vitesse de calcul d'environ 75000 opérations par seconde – suffisante pour mettre à jour en continu l'affichage des cibles. L'aspect « semi-automatique » se réfère au fait que l'humain reste dans la boucle décisionnelle (d'où la présence des contrôleurs), l'ordinateur assistant en fusionnant les données et en accélérant leur traitement.

Le système SAGE, longtemps classé secret défense, a marqué l'imagination. Les centres de contrôle étaient logés dans d'immenses bunkers

aux murs épais, ce qui a inspiré les représentations cinématographiques de salles de commandement high-tech dans des films comme *Docteur Folamour* (1964) ou *Le Cerveau d'acier* (1970)

## 12.7 ARPANET

À la fin des années 1960, l'ordinateur n'est plus une curiosité : il s'est répandu dans les laboratoires et les universités, mais chaque centre de recherche dispose de sa propre machine, isolée. Le besoin d'interconnecter ces ordinateurs pour partager des ressources (puissance de calcul, programmes, données) se fait pressant, d'autant que le ministère de la Défense américain (DoD) souhaite optimiser l'usage de ses coûteux calculateurs et assurer une communication fiable entre chercheurs en cas de crise. En 1962, le visionnaire *J.C.R. Licklider*, du MIT, diffuse l'idée d'un « Réseau Galactique » reliant les ordinateurs du monde entier. Devenu responsable du bureau informatique de l'ARPA (Advanced Research Projects Agency) au Pentagone, Licklider impulse des projets de mise en réseau. Parallèlement, des travaux théoriques menés par Paul Baran (à la RAND Corporation) et Donald Davies (en Angleterre) proposent un nouveau mode de transmission des données : la *commutation de paquets*, où les messages sont découpés en petits paquets acheminés individuellement dans un réseau, par opposition aux circuits téléphoniques dédiés. L'ARPA, en pleine guerre froide, voit aussi dans un réseau maillé de ce type un système plus résilient qu'un réseau centralisé susceptible d'être détruit par une attaque.

Le réseau ARPANET est lancé en 1969 sous l'égide de l'ARPA. Il relie initialement quatre universités américaines (UCLA, Stanford Research Institute, UC Santa Barbara, Univ. of Utah) via des lignes téléphoniques louées. La nouveauté majeure réside dans l'emploi d'Interface Message Processors (IMP), de petits ordinateurs spécialisés (fournis par BBN Technologies) qui assurent la transmission des paquets de données d'un noeud à l'autre. Chaque site connecté dispose d'un IMP branché à son ordinateur central, et les IMP communiquent entre eux en *paquets* selon un protocole novateur, le NCP (Network Control Protocol). En pratique, lorsqu'un utilisateur envoie un fichier ou un message sur ARPANET, ses données sont découpées en paquets d'environ quelques dizaines d'octets ; chaque paquet est envoyé vers sa destination en pouvant emprunter des routes différentes, et l'ordinateur récepteur les rassemble. Ce mode de fonctionnement, tolérant aux pannes, permet au réseau de continuer à opérer même si certaines liaisons ou nœuds sont indisponibles. Dès la fin 1971, ARPANET atteint 15 nœuds interconnectant des centres à travers les États-Unis. Le réseau s'étend ensuite à la côte Est et au Midwest, puis à l'international en 1973

avec des liaisons vers Londres et la Norvège. Techniquement, ARPANET préfigure tous les réseaux modernes : adressage des machines, acheminement dynamique des paquets (les IMP calculent les routes), contrôle d'erreurs et détection des pannes.

ARPANET a donné naissance à l'Internet, c'est-à-dire à l'interconnexion mondiale de réseaux hétérogènes. Si ARPANET était initialement un réseau restreint (quelques dizaines de noeuds militaires et académiques), l'adoption du protocole TCP/IP a permis son essaimage : dans les années 1980, d'autres réseaux (CSNET, NSFNET aux États-Unis, puis les réseaux européens et asiatiques) se sont interconnectés pour former le réseau des réseaux. Les principes introduits par ARPANET – la commutation de paquets, les protocoles de routage, le principe d'une architecture décentralisée sans contrôle central – sont les fondements de l'Internet moderne. ARPANET a également impulsé de nouvelles applications : le courrier électronique y est rapidement devenu le service le plus utilisé, préfigurant la messagerie instantanée et les réseaux sociaux ; le transfert de fichiers et le telnet (connexion à distance) annonçaient le cloud computing d'aujourd'hui. En 1990, ARPANET fut officiellement arrêté, dépassé par l'Internet civil naissant, mais son héritage technologique et conceptuel est omniprésent. L'idée qu'une infrastructure de communication flexible peut survivre à des pannes et évoluer librement a permis l'explosion d'Internet dans les années 1990 et 2000. En somme, ARPANET a été le berceau de l'Internet et a inauguré l'ère de l'interdépendance numérique planétaire, reliant entre eux des milliards d'ordinateurs comme ARPANET reliait jadis quelques machines pionnières.

## 12.8 Internet

### 12.9 1971 : le courrier électronique

Le courrier électronique existait avant la création d'Internet mais c'est grâce à Internet qu'il a trouvé tout son sens. *Ray Tomlinson* qui est ingénieur chez Bolt, Beranek and Newman (BBN) et qui collabore également au développement d'Arpanet pour le gouvernement américain est à l'origine de cette invention. C'est également lui qui a introduit l'utilisation du symbole "@"<sup>7</sup> pour séparer le nom de l'utilisateur de celui de la machine, une

---

7. Historiquement, le @ trouve ses origines au Moyen Âge, où les moines copistes l'utilisaient comme une ligature pour le mot latin "ad", signifiant "vers" ou "à". Cette pratique visait à gagner du temps et de l'espace lors de la copie de manuscrits. Ainsi il existe depuis le XII<sup>e</sup> siècle et les machines à écrire mécanique disposaient déjà de ce signe.

convention toujours en vigueur. Ce symbole couramment appelé "arobase" en français, a été choisi pour séparer le nom de l'utilisateur de celui de la machine dans les adresses e-mail. Le symbole @, signifiant "at" en anglais ("à" ou "chez" en français), s'est avéré idéal pour cette fonction. De plus, il était peu utilisé dans les noms propres, réduisant ainsi le risque de confusion. Cette innovation est née de la combinaison de deux programmes : SNDMSG et CPYNET.

SNDMSG était un programme conçu pour permettre aux utilisateurs d'un même ordinateur en temps partagé d'échanger des messages. Chaque utilisateur pouvait laisser un message dans une boîte aux lettres électronique locale, accessible uniquement sur la machine en question. Ce système facilitait la communication entre les utilisateurs d'un même système, mais ne permettait pas l'échange de messages entre différents ordinateurs.

CPYNET, également développé par Tomlinson, était un programme destiné au transfert de fichiers entre ordinateurs via le réseau ARPANET. Il permettait de copier des fichiers d'une machine à une autre, ouvrant la voie à la communication inter-systèmes. Cependant, CPYNET n'était pas initialement conçu pour la messagerie électronique.

L'idée novatrice de Tomlinson fut d'intégrer les fonctionnalités de CPYNET dans SNDMSG. En combinant ces deux programmes, il a rendu possible l'envoi de messages non seulement aux utilisateurs locaux, mais aussi à des utilisateurs sur d'autres ordinateurs connectés au réseau ARPANET. Pour ce faire, il a introduit l'utilisation du symbole @ pour séparer le nom de l'utilisateur de celui de la machine destinataire, créant ainsi le format d'adresse électronique que nous utilisons encore aujourd'hui.

Une anecdote notable est qu'en 1976, la reine *Élisabeth II* est devenue le premier chef d'État à envoyer un e-mail, démontrant ainsi l'importance croissante de cette technologie même pour les dirigeants de pays.

En 2024, il est estimé que plus de 361,6 milliards d'e-mails sont envoyés quotidiennement dans le monde.

## 12.10 La reconnaissance vocale

Parmi les nombreuses avancées dans les technologies de communication, la reconnaissance vocale occupe une place singulière. Longtemps cantonnée aux laboratoires de recherche, elle est désormais omniprésente dans les environnements numériques. Cette technologie permet à l'humain de dialoguer avec la machine par la parole, sans interface tactile ni clavier.

Initialement rudimentaire, la reconnaissance vocale s'appuyait sur des modèles acoustiques rigides, limités à quelques mots-clés prononcés dans des conditions idéales. L'arrivée des algorithmes d'apprentissage profond,

et notamment des réseaux de neurones récurrents puis transformateurs, a permis un bond en avant spectaculaire. Désormais, les assistants vocaux personnels (Siri, Alexa, Google Assistant) comprennent et exécutent des requêtes complexes, s'adaptant au contexte et à l'accent de chaque utilisateur.

Cette évolution marque une étape supplémentaire dans l'effacement des frontières entre l'humain et la machine : la voix devient un mode de communication naturel avec les systèmes informatisés, que ce soit dans les foyers, les voitures ou les lieux publics. Cette démocratisation soulève cependant des questions éthiques majeures : protection des données vocales, surveillance invisible, et inégalités d'accès liées aux langues et aux accents.

## 12.11 Explosion du Web, services en ligne et réseaux sociaux

Autre tournant décisif dans l'histoire des communications numériques : l'explosion du Web au tournant du XXI<sup>e</sup> siècle. D'un outil initialement conçu pour le partage académique et scientifique, le Web devient un espace universel d'interaction, de diffusion et de création.

L'arrivée du **Web 2.0** transforme radicalement les usages. Les utilisateurs ne sont plus de simples lecteurs d'informations : ils en deviennent les auteurs. Blogs, forums, encyclopédies collaboratives et, surtout, réseaux sociaux modifient en profondeur la manière dont les individus communiquent, s'informent, débattent et se représentent collectivement.

Les services en ligne — messageries instantanées, plateformes de streaming, applications collaboratives — s'imposent dans tous les domaines : travail, éducation, commerce, culture. Les réseaux sociaux comme *Facebook*, *Twitter*, *Instagram* ou *TikTok* instaurent de nouvelles temporalités dans la communication, basées sur l'immédiateté, la viralité et l'algorithmie.

Ces mutations redéfinissent les logiques d'autorité, de visibilité et d'influence. Elles posent aussi des défis immenses : prolifération des fausses informations, bulles de filtre, surveillance étatique ou privée, mais aussi nouveaux modes d'engagement citoyen et de mobilisation sociale. Paradoxalement, ces outils censés rapprocher les individus peuvent renforcer l'isolement : les interactions numériques se substituent parfois aux échanges physiques, et l'hyperconnexion continue alimente des phénomènes d'addiction, en particulier chez les plus jeunes. La recherche de validation sociale, incarnée par les "likes", influence durablement les comportements et la perception de soi.



## CHAPITRE 13

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES FUTURES

*L'informatique, qui a révolutionné les sociétés au cours des dernières décennies, continue d'évoluer à un rythme effréné, ouvrant des perspectives fascinantes mais aussi des défis majeurs. Ce chapitre se penche sur les futures avancées technologiques, leurs impacts potentiels, et les responsabilités qu'elles impliquent. L'intelligence artificielle est sans conteste l'un des moteurs de cette transformation, promettant des applications révolutionnaires mais soulevant également des questions éthiques cruciales. En parallèle, les ordinateurs quantiques et biologiques pourraient repousser les limites actuelles du calcul, inaugurant une nouvelle ère pour la science et l'industrie. Ces innovations s'accompagnent toutefois de défis éthiques et environnementaux, exigeant une réflexion approfondie sur la durabilité, la régulation et les impacts sociaux. Enfin, le lien entre informatique et éducation sera déterminant pour préparer les nouvelles générations à ces technologies et garantir leur accès équitable. Ce chapitre explore ces thématiques, offrant un regard prospectif sur les grandes tendances qui façonnent l'avenir de l'informatique et son rôle dans notre société.*

## 13.1 L'I.A.

Il est 6 h 20 du matin. *Inès* dort paisiblement. Dehors la nuit recouvre encore Toulouse qui semble s'éveiller doucement en cet automne 2040. À 6 h 30, *Aria*, son assistant personnel, ajuste progressivement l'éclairage de la pièce pour imiter la lumière naturelle d'un lever de soleil. Une musique douce, générée en temps réel par un algorithme de composition musicale, s'élève en fond. La voix chaleureuse d'*Aria* rompt le silence : « Bonjour Inès, il est 6 h 30. La qualité de ton sommeil a été excellente. Tu as dormi 7 heures et 45 minutes avec un rythme cardiaque stable. Une belle journée s'annonce. J'espère que la musique que je viens de composer pour toi correspond à tes attentes... ».

Les capteurs intégrés au matelas intelligent ont analysé ses phases de sommeil et suggèrent une séance d'étirements doux. *Inès* accepte d'un signe de tête, et *Aria* projette une série d'exercices sur le mur face au lit, adaptés à ses besoins physiques identifiés grâce à ses données biométriques.

Dans la cuisine, la cafetière intelligente prépare un café exactement comme elle l'aime, pendant qu'un robot-assistant découpe des fruits frais. Sur le plan de travail, un écran intégré diffuse un résumé des actualités mondiales, sélectionnées selon ses centres d'intérêt. Elle consulte également un rapport sur sa santé, généré par son bracelet connecté : « Tes taux de glycémie et de magnésium sont un peu faibles. Je te recommande un bol de céréales enrichies. ». Le réfrigérateur, doté d'une intelligence artificielle, avait déjà anticipé cette recommandation : un bol contenant les ingrédients nécessaires est prêt à être servi.

À 8 h, *Inès* quitte son appartement pour se rendre à son lieu de travail. Son véhicule autonome, alimenté par une énergie renouvelable optimisée par l'I.A., l'attend déjà à la porte. Pendant le trajet, la voiture ajuste automatiquement sa vitesse et son itinéraire en fonction des conditions de circulation et des prévisions météorologiques en temps réel. À bord, elle profite de ces vingt minutes de trajet pour travailler. La synchronisation des outils professionnels d'*Inès*, résume les messages importants et rédige automatiquement des réponses à sa demande. Elle peut revoir des moments des journées précédentes si un détail semble lui échapper et revivre des conversations.

Avant d'arriver, *Aria* lui rappelle également une réunion importante prévue à 10 h et affiche un résumé des points clés à aborder. Dans son bureau, *Inès* travaille sur des projets complexes de design urbain. L'I.A. de son entreprise, spécialisée dans l'architecture écologique, génère des simulations 3D de nouveaux bâtiments en fonction des données environnementales locales. *Inès* interagit avec cette intelligence artificielle par des gestes et des

commandes vocales, ajustant les modèles en temps réel. Lors d'une réunion collaborative, des hologrammes de ses collègues distants apparaissent autour de la table. Chacun est assisté par son propre agent intelligent, qui prend des notes et suggère des idées basées sur des données pertinentes. La réunion est enregistré et un compte rendu est automatiquement rédigé. Les décisions sont accélérées grâce aux analyses prédictives proposées par ces intelligences artificielles.

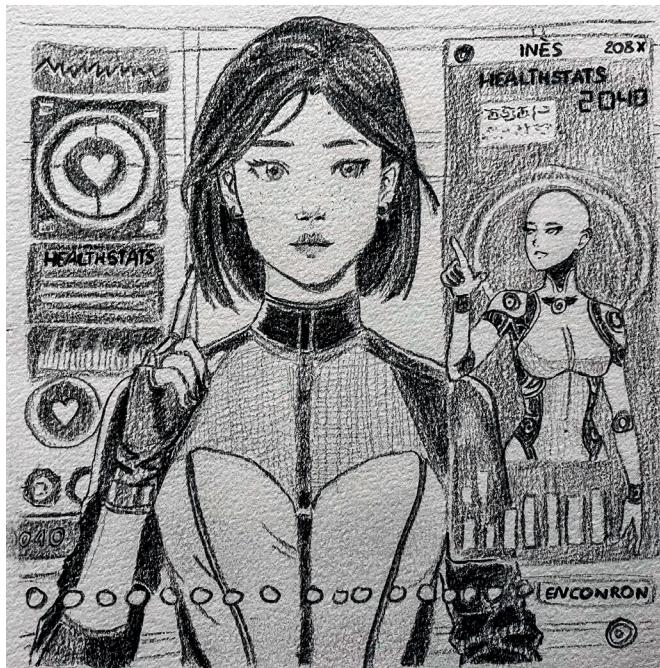


FIGURE 13.1 – Inès I.A.

Auteur : Inès Al Hamdani. Licence : CC BY-SA 3.0.

À midi, Inès se rend dans un restaurant où le menu est entièrement conçu grâce à l'I.A. Les plats proposés tiennent compte des préférences alimentaires de chaque client, tout en optimisant l'utilisation des ingrédients pour réduire le gaspillage. Elle choisit un plat végétarien, recommandé pour améliorer son apport en nutriments tout en respectant son objectif écologique. De retour chez elle en début d'après-midi, Inès consacre une heure à son hobby favori : la peinture augmentée. Son pinceau, équipé d'un capteur, transmet les mouvements à un écran interactif, où une I.A. lui suggère des combinaisons de couleurs et des motifs inspirés de différents styles artistiques. Elle apprécie cette collaboration, où la machine enrichit sa créativité sans s'y substituer. De l'intelligence augmentée a-t-elle souvent l'habitude

de dire. Après une journée bien remplie, Inès passe la soirée à discuter avec ses amis lors d'une rencontre en réalité virtuelle. Chacun, bien que situé dans des villes différentes, est projeté dans un environnement simulé où ils peuvent partager des expériences interactives. Elle profite également de cette occasion pour consulter une recommandation de voyage avec une date générée par Aria, qui a repéré une destination parfaite pour ses prochaines vacances avec son copain en fonction de ses envies et de son budget et de son niveau de stress.

Avant de se coucher, Inès aime jouer de la guitare sans I.A., ni technologie pour comme elle dit « revenir aux sources » puis elle médite pendant quelques minutes, guidée par une application qui ajuste les exercices en fonction de son niveau de stress mesuré. À 22 h, les lumières s'éteignent doucement, et Aria souhaite une bonne nuit à Inès, qui s'endort paisiblement, confiante dans cet équilibre entre technologie et sérénité.

### **Que pensez-vous de ce récit fiction ?**

En 2040, l'intelligence artificielle pourrait s'être intégrée profondément dans tous les aspects de la société, devenant une technologie omniprésente et incontournable. Une I.A. omniprésente et personnalisée face aux crises écologiques et climatiques, l'I.A. pourrait jouer un rôle crucial dans la gestion des ressources et la préservation de l'environnement. Des systèmes alimentés par l'I.A. surveilleraient en temps réel l'état des écosystèmes, prédisant les menaces et proposant des solutions avant qu'il ne soit trop tard. Les réseaux électriques intelligents, ou smart grids, gérés par des algorithmes avancés, optimiseraient la consommation d'énergie à l'échelle mondiale, réduisant considérablement le gaspillage.

Dans l'agriculture, l'I. A. aiderait à nourrir une population mondiale croissante en optimisant les cultures, en prédisant les conditions climatiques et en minimisant l'impact environnemental.

Malgré ses promesses, l'I.A. ne serait pas sans risques. Une I.A. trop avancée et mal encadrée pourrait poser des problèmes de contrôle et de sécurité. L'idée d'une superintelligence – capable de surpasser les capacités humaines dans tous les domaines – soulèverait des questions éthiques complexes : comment garantir que cette technologie reste alignée sur les intérêts de l'humanité ? Qui en aurait le contrôle, et comment éviter les abus ? Les inégalités pourraient également s'accroître si l'accès à ces technologies reste réservé à une élite. Les pays ou les individus ne disposant pas des ressources nécessaires risqueraient d'être laissés pour compte dans cette révolution technologique.

Enfin, l'I.A. poserait des défis existentiels : à mesure qu'elle se rapproche de l'intelligence humaine, où fixer la limite entre l'humain et la machine ? Si

nos vies deviennent intimement liées à des entités artificielles, qu'adviendra-t-il de notre autonomie, de notre créativité, ou même de notre identité ? L'avenir de l'I.A. dépendra non seulement de ses avancées technologiques, mais aussi des choix que nous ferons pour intégrer cette puissance dans nos sociétés de manière équitable, responsable et durable.

## 13.2 Ordinateurs quantiques et biologiques

Depuis leur invention, les ordinateurs ont évolué en repoussant sans cesse les limites du calcul. Deux innovations majeures émergent aujourd'hui : l'informatique quantique et l'informatique biologique. Ces nouvelles approches exploitent les principes fondamentaux de la nature pour résoudre des problèmes complexes autrement impossibles à traiter avec les architectures classiques.

L'informatique quantique a été conceptualisée dans les années 1980 par *Richard Feynman* et *David Deutsch*, qui ont montré que certaines tâches seraient plus efficaces avec un calculateur exploitant les lois de la mécanique quantique. Depuis, des entreprises et laboratoires du monde entier travaillent à construire des ordinateurs quantiques fonctionnels.

Les ordinateurs quantiques utilisent des *qubits*, capables de superposition et d'intrication, permettant d'effectuer des calculs parallèles massifs. La **superposition** signifie qu'un qubit peut exister simultanément dans plusieurs états. Contrairement aux bits classiques, qui sont soit 0 soit 1, un *qubit* peut être une combinaison de ces deux valeurs. Cette propriété permet aux ordinateurs quantiques d'examiner plusieurs solutions à un problème en même temps, augmentant ainsi leur rapidité d'exécution pour certaines tâches. L'**intrication** est un phénomène où deux *qubits* deviennent liés, de sorte que l'état de l'un influence immédiatement celui de l'autre, quelle que soit la distance qui les sépare. Ce phénomène permet d'améliorer considérablement certains types de calculs et de renforcer la sécurité des communications quantiques grâce à la distribution de clés cryptographiques inviolables.

L'informatique biologique est née en 1994 grâce à *Leonard Adleman*, qui a utilisé l'ADN pour résoudre un problème mathématique. Cette démonstration a ouvert la voie à une approche du calcul inspirée des processus biologiques, avec des applications en biotechnologie et en médecine. Avant cela, Alan Turing avait déjà posé les bases théoriques de l'informatique avec sa célèbre machine de Turing, un modèle abstrait qui influence encore aujourd'hui le développement des nouvelles formes de calcul. En 1952, il publie un article sur la morphogenèse, expliquant comment des structures complexes émergent dans la nature. Ces travaux ont inspiré certains concepts de

l'informatique biologique et montrent que les principes du vivant peuvent guider la conception de nouveaux systèmes de calcul.

Les ordinateurs biologiques, quant à eux, reposent sur des réactions chimiques et des structures moléculaires comme l'ADN pour encoder et traiter l'information. Leur potentiel réside dans la médecine, la détection de maladies et la bio-ingénierie. Bien que distinctes, ces technologies partagent un objectif commun : dépasser les limites du silicium en s'inspirant des lois naturelles. Des recherches explorent la possibilité de combiner ces deux approches pour créer des systèmes hybrides, associant puissance quantique et efficacité biologique.

Les ordinateurs biologiques, notamment ceux basés sur l'ADN, se distinguent par leur consommation énergétique extrêmement faible. Par exemple, une opération typique impliquant une réaction entre deux brins d'ADN utilise environ  $5 \times 10^{-20}$  joules, tandis qu'une opération équivalente dans un ordinateur à base de silicium consomme environ  $10^{-9}$  joules.

Cette efficacité énergétique remarquable rend ces systèmes particulièrement prometteurs pour des applications telles que la médecine, la détection de maladies et la bio-ingénierie.

### 13.3 Défis éthiques et environnementaux

L'informatique, depuis ses débuts, a soulevé des questionnements éthiques majeurs. Si, au départ, ces préoccupations tournaient autour de la confidentialité et de la protection des données, elles se sont élargies pour englober des enjeux plus vastes, notamment l'impact environnemental du numérique. Dans les années 1940-1950, avec la naissance des premiers ordinateurs, les débats éthiques étaient encore balbutiants. La Seconde Guerre mondiale et la cryptographie, illustrées par le travail d'Alan Turing, ont rapidement soulevé des interrogations sur l'usage des machines pour la surveillance et le contrôle. En 1948, *Norbert Wiener*, père de la cybernétique, tire la sonnette d'alarme en publiant « Cybernetics », où il met en garde contre le pouvoir des systèmes automatisés. En parallèle, *George Orwell* publie en 1949 son roman dystopique « 1984 », qui met en scène une société sous surveillance permanente grâce à des technologies omniprésentes. Cette œuvre a marqué durablement les esprits et sert encore aujourd'hui de référence pour critiquer les dérives possibles du numérique et de la collecte massive de données. Dans les années 60, *Joseph Weizenbaum* crée ELIZA, un programme simulant une conversation humaine. Stupéfait par la manière dont les gens s'attachent à un simple script, il devient un fervent critique de l'intelligence artificielle, dénonçant les dangers d'une automatisation excessive. Cette décennie voit aussi émerger les premiers scandales liés aux

bases de données gouvernementales, mettant en lumière les risques liés à la collecte massive d'informations. À mesure que l'informatique s'est démocratisée, la collecte de données personnelles est devenue un enjeu central. L'affaire **Cambridge Analytica** en 2018, où des millions de profils Facebook ont été exploités sans consentement, a marqué un tournant. Le RGPD en Europe tente de répondre à ces inquiétudes, mais face aux avancées de l'IA et de la reconnaissance faciale, le débat reste brûlant. Le spectre de « 1984 » semble aujourd'hui plus pertinent que jamais, avec des technologies capables de traquer et d'analyser nos comportements en temps réel.

## Biais algorithmiques et discriminations

Dans les années 1980, on pensait que l'informatique apporterait une objectivité scientifique. Mais aujourd'hui, nous savons que les algorithmes héritent des biais de leurs créateurs. En 2018, une étude du MIT montre que les systèmes de reconnaissance faciale ont un taux d'erreur bien plus élevé pour les personnes noires que pour les blancs, posant un problème majeur de discrimination algorithmique.

## Responsabilité et transparence des algorithmes

Dans les années 1990, la financiarisation massive de l'économie a vu l'émergence du trading haute fréquence, où des algorithmes prenaient des décisions boursières en une fraction de seconde. L'effondrement éclair de Wall Street en 2010, dû à des transactions automatiques incontrôlées, a souligné les risques d'une trop grande dépendance aux systèmes informatisés opaques.

## L'impact environnemental du numérique

Si Internet était un pays, il serait le troisième plus gros consommateur d'électricité au monde. En 2013, Greenpeace a dénoncé la pollution numérique causée par les data centers alimentés au charbon. Depuis, certaines entreprises comme Google et Microsoft ont fait des efforts pour alimenter leurs serveurs en énergies renouvelables.

## Obsolescence programmée et déchets électroniques

Dans les années 2000, un scandale éclate : Apple ralentit volontairement ses anciens iPhones via des mises à jour, forçant les utilisateurs à acheter un modèle plus récent. Cette pratique d'obsolescence programmée,

bien que dénoncée, reste omniprésente, alimentant la montagne de déchets électroniques qui s'accumulent dans les pays du Sud.

## Alternatives et solutions

Face à ces défis, des initiatives émergent. En 2021, *Fairphone* propose un smartphone réparable et éthique, contrastant avec l'obsolescence rapide imposée par les grandes marques. Le « Green Computing » se développe, avec des algorithmes plus économies et des data centers alimentés par des énergies renouvelables. Les questions éthiques et environnementales liées à l'informatique ne datent pas d'hier. Depuis les premières mises en garde de Wiener et Weizenbaum jusqu'aux scandales récents, les inquiétudes n'ont fait que croître. De plus, l'avertissement prophétique d'Orwell dans « 1984 » résonne particulièrement dans un monde où la surveillance numérique est omniprésente.

## 13.4 Informatique et éducation.

J'avais 12 ans lorsque je suis réellement tombé dans l'univers de l'informatique. Quelques années auparavant, j'avais déjà eu un premier contact avec la technologie grâce à une console analogique que mon père acceptait de brancher sur la télévision du salon mais seulement si j'avais été sage. Jouer était amusant et captivant, mais ce qui m'intéressait le plus, c'était de comprendre comment tout cela fonctionnait. Comment cette raquette (il fallait avoir de l'imagination !) pouvait-elle renvoyer cette balle dans ce jeu de Pong, le tout affiché en monochrome sur mon écran de salon ? Puis, en 1984, grâce à quelques bons professeurs d'EMT et au *MO5* disponible à la médiathèque de ma ville, je fais mes premiers pas en programmation. Ce parcours, je le partage avec tant d'autres passionnés de ma génération, qui ont découvert l'informatique à travers nos *Amstrad*, *Commodore* et autres machines mythiques. Aujourd'hui, j'enseigne l'informatique, et l'on peut dire que la boucle est bouclée. Mais l'histoire de la formation des informaticiens remonte bien plus loin. Dès 1962, les premières facultés de Computer Science voient le jour aux États-Unis et au Royaume-Uni. En France, dès 1960, plus de 200 ordinateurs sont en activité et nécessitent des spécialistes pour les faire fonctionner. La demande explose et les programmeurs deviennent une ressource précieuse sur le marché du travail. Pour répondre à ce besoin croissant, le CNRS crée en 1963 un Institut de Programmation, destiné à former techniciens et ingénieurs en informatique. Dans l'attente que les universités forment leurs propres enseignants, les cours sont alors assurés par des ingénieurs et mathématiciens issus de l'industrie. En 1966,

le ministère de l'éducation nationale va créer les maîtrises d'informatique, d'électronique et d'automatisme. C'est aussi cette année là que sont créées les IUT (Instituts Universitaire de Technologie).

## Le Plan Calcul de 1966

Toujours en 1966, le Plan Calcul est lancé sous l'impulsion du président Charles de Gaulle, comme une initiative stratégique visant à développer une industrie informatique nationale en France et ainsi réduire la dépendance vis-à-vis des technologies américaines. Parmi les objectifs du plan on trouve la volonté déjà de former une nouvelle génération d'informaticiens en intégrant l'enseignement de l'informatique dans les écoles et universités. Il est à noter qu'en 1966 il n'y avait pas encore de micro-informatique. Bien que le *Plan Calcul* ait contribué à l'essor de la formation en informatique et à la création d'entreprises, il n'a pas atteint pleinement ses objectifs. La domination persistante d'IBM a rendu les produits français moins compétitifs, tant en termes de performance que de coût. De plus, le soutien des entreprises privées françaises est resté limité, celles-ci préférant souvent acquérir du matériel étranger jugé plus fiable. Malgré son échec relatif, le *Plan Calcul* a permis d'accélérer la formation des ingénieurs en informatique en France, contribuant ainsi à l'émergence d'une main-d'œuvre qualifiée dans ce domaine. Il a également posé les bases du développement d'une industrie numérique nationale, avec des acteurs majeurs tels que Bull et Thomson. Enfin, il a influencé la politique technologique française, inspirant des initiatives ultérieures comme le Minitel ou le Plan Informatique pour Tous des années 1980.

## Le plan informatique pour tous

En 1985, le gouvernement français a initié le **Plan Informatique pour Tous (IPT)**. Ce programme ambitieux avait pour but d'introduire l'informatique dans le système éducatif et de soutenir l'industrie nationale. Le plan poursuivait plusieurs objectifs :

- 1. Initiation des élèves à l'informatique :** Offrir à chaque élève, quel que soit son lieu de scolarisation, l'opportunité de se familiariser avec l'outil informatique durant sa scolarité, favorisant ainsi une meilleure égalité des chances.
- 2. Accessibilité pour le grand public :** Mettre à disposition des citoyens les équipements et programmes des établissements scolaires, en partenariat avec les collectivités locales et les associations.

**3. Formation des enseignants :** Former un grand nombre d'enseignants à l'utilisation de l'informatique, avec pour objectif d'initier plus de 150 000 enseignants au langage informatique dès 1985.

Pour atteindre ces objectifs, le plan prévoyait :

- **Équipement des établissements :** Installation de 11 000 ateliers informatiques dans les établissements scolaires, chacun comprenant plus de six micro-ordinateurs familiaux ou semi-professionnels. De plus, 33 000 écoles de taille plus modeste devaient recevoir un équipement de base comprenant un micro-ordinateur.
- **Partenariats industriels :** Collaboration avec des entreprises françaises telles que Thomson, Exelvision, Léanord, SMT Goupil, Bull et LogAbax pour fournir le matériel informatique nécessaire.

Le plan a rencontré plusieurs défis. Le manque de formation approfondie des enseignants, avec seulement 50 heures prévues, a été critiqué. De plus, l'accent mis sur l'enseignement de la programmation au détriment de l'utilisation de logiciels applicatifs a suscité des réserves. Le choix des terminaux 8 bits MO5 de Thomson a également été controversé, certains le considérant comme inadapté. Quelques mois après le lancement du plan, seulement 10 % des enseignants utilisaient l'outil informatique en classe. Finalement, le plan a été abandonné en 1989.

## États généraux du numérique pour l'éducation (2020)

Les *États généraux du numérique pour l'éducation* se sont tenus les 4 et 5 novembre 2020 à Poitiers, en réponse aux défis posés par la crise sanitaire de la COVID-19. Cette initiative, lancée par le ministre de l'Éducation nationale, Jean-Michel Blanquer, visait à tirer les enseignements de la période de confinement, durant laquelle le système éducatif a basculé vers l'enseignement à distance. L'objectif principal était de co-construire une stratégie numérique consolidée et partagée avec l'ensemble de la communauté éducative et des partenaires, incluant les collectivités territoriales, les associations et les entreprises de la filière EdTech<sup>1</sup>. Les conclusions de ces États généraux ont conduit à plusieurs mesures concrètes. Parmi elles, la création d'un « compte ressources et services numériques » pour les enseignants, permettant un accès facilité à des outils pédagogiques adaptés. De plus, un accent particulier a été mis sur la formation et la certification

---

1. Les EdTech, contraction de « Educational Technology », désignent l'ensemble des technologies de l'information et de la communication (TIC) appliquées à l'éducation et à la formation. Elles englobent les outils matériels et logiciels conçus pour améliorer les processus d'enseignement et d'apprentissage.

des compétences numériques des professeurs et des élèves, avec l'introduction de certifications obligatoires à différents niveaux de la scolarité. Par ailleurs, des efforts ont été déployés pour équiper les classes en matériel numérique, notamment par le déploiement du socle numérique de base dans les écoles élémentaires et les collèges. Enfin, le développement d'outils innovants, intégrant des technologies telles que l'intelligence artificielle ou la réalité virtuelle, a été encouragé pour enrichir les pratiques pédagogiques.

## Stratégie du numérique pour l'éducation 2023-2027

Présentée en janvier 2023, la stratégie du numérique pour l'éducation vise à renforcer les compétences numériques des élèves et à intégrer les outils numériques dans les pratiques pédagogiques. Elle repose sur quatre grands axes : développer la citoyenneté numérique et l'esprit critique chez les élèves, accompagner les enseignants avec des ressources adaptées et des formations, moderniser les outils informatiques dans un souci d'accessibilité et de durabilité, et mieux structurer la gouvernance du numérique éducatif.

Parmi les actions clés : un équipement individuel type pour les élèves, un compte ressources simplifié pour accéder aux services, une plateforme numérique interopérable, et un soutien à l'École inclusive. Cette stratégie se veut collaborative, élaborée avec les différents acteurs de l'éducation, pour une transformation numérique cohérente et écoresponsable, au service des élèves, enseignants et personnels éducatifs.

## Un dernier mot ...

Écrire l'histoire de l'informatique, c'est tenter de donner sens à une succession d'innovations techniques qui, prises ensemble, ont reconfiguré notre civilisation. C'est aussi reconnaître que cette histoire n'est pas linéaire : elle est faite de ruptures, de tâtonnements, de retours en arrière et d'élans visionnaires. Derrière chaque invention, il y a des femmes et des hommes, souvent oubliés, qui ont contribué à façonner les outils d'aujourd'hui.

Ce livre n'est ni exhaustif ni définitif. Il se veut une invitation à réfléchir aux liens entre technologies, société et culture. Car l'informatique n'est pas qu'affaire de machines ou de codes : elle est, fondamentalement, une construction humaine. Ses usages, ses orientations, ses dérives comme ses promesses dépendent de choix collectifs.

À l'heure où les systèmes deviennent autonomes, où les données deviennent pouvoir, et où les algorithmes tracent les contours de nos vies, il devient crucial d'éclairer ces technologies par la connaissance, le dialogue et la mémoire. Se souvenir de l'histoire de l'informatique, c'est garder la maîtrise de son avenir.



## CHAPITRE 14

### CHRONOLOGIE DES ÉVÉNEMENTS CLÉS

**-20 000 av. J.-C.** : Début de l'utilisation des premiers outils de comptage rudimentaires. Les chasseurs-cueilleurs utilisaient probablement des os ou des pierres pour suivre les cycles lunaires ou les quantités de bétail. L'os d'Ishango (daté de -20 000 av. J.-C.) en est un exemple célèbre, avec des marques alignées en paires, qui pourraient représenter des calculs élémentaires.

**-8000 av. J.-C.** : Apparition des boules et des jetons en Mésopotamie pour la comptabilité. Ces petits objets, souvent en argile, sont utilisés pour représenter des quantités et faciliter les transactions commerciales. Ils constituent une forme primitive de représentation de données, posant les premières bases du calcul et de la gestion de l'information.

**-3400 av. J.-C.** : Invention de l'écriture en Mésopotamie et début de la comptabilité. Les Sumériens développent des systèmes d'écriture cunéiforme pour consigner des transactions commerciales et des informations sur les biens et les ressources, marquant ainsi une première forme de stockage systématique de données.

**-3000 av. J.-C.** : Fuxi (Fou Hi) introduit les concepts du yin et du yang dans la culture chinoise, considérés comme une première forme de pensée binaire.

**-2000 av. J.-C.** : Utilisation des premiers abaques et bouliers en Mésopotamie et en Chine. Ces instruments de calcul manuel permettent d'effectuer des opérations arithmétiques de base comme l'addition et la soustraction.

**-1500 av. J.-C.** : Apparition des clepsydres (horloges à eau) en Égypte et en Mésopotamie pour la mesure du temps.

**-350 av. J.-C.** : *Euclide* rédige les \*Éléments\*, un ouvrage majeur qui structure les bases de la géométrie et des mathématiques, contenant notamment un algorithme de calcul du plus grand commun diviseur (PGCD) de deux nombres.

**-300 av. J.-C.** : Aristote formalise la logique en Grèce antique, développant des concepts comme le syllogisme qui structurent le raisonnement déductif. Ses travaux établissent les bases de la logique formelle, une discipline qui influencera les mathématiques et, plus tard, l'informatique théorique. La logique d'Aristote sera un fondement essentiel pour les futurs travaux en logique mathématique et en programmation.

**830** : Al-Khwarizmi rédige le \*Kitab al-Jabr wal-Muqabala\*, un traité fondamental qui pose les bases de l'algèbre. Il développe des méthodes systématisques pour résoudre des équations, introduisant le terme "algèbre" et des concepts qui seront essentiels pour les mathématiques et l'informatique. Le mot "algorithme" dérive de son nom, en hommage à ses contributions aux procédures mathématiques et à la résolution structurée de problèmes.

**1202** : Léonard de Pise, dit Fibonacci publie le \*Liber Abaci\* (Livre de l'abaque), introduisant le système de numération indo-arabe en Europe. Ce système, basé sur les chiffres 0 à 9 et la position des chiffres pour indiquer leur valeur, rend les calculs arithmétiques plus simples et pratiques. Fibonacci introduit également la suite de nombres qui porte son nom, posant des bases pour des études futures en mathématiques et en algorithmes.

**13e siècle** : Apparition des premières horloges mécaniques en Europe, permettant une mesure précise du temps grâce à des mécanismes à poids et à engrenages. Ces horloges, souvent installées dans les tours des villes, offrent une régularité dans la mesure du temps qui influence les pratiques sociales et scientifiques.

**1642** : Blaise Pascal invente la Pascaline, l'une des premières machines à calculer mécaniques capable d'effectuer des additions et des soustractions.

**1801** : Joseph-Marie Jacquard invente le métier à tisser programmable, utilisant des cartes perforées pour contrôler le motif du tissu. Cette innovation permet d'automatiser des séquences complexes et marque une étape clé dans l'histoire des machines programmables. Le principe des cartes perforées sera plus tard repris dans les premiers ordinateurs, influençant les concepts de programmation et de stockage de données.

**1822** : Charles Babbage conçoit la machine à différences, un dispositif mécanique destiné à calculer des tables mathématiques en automatisant les opérations d'addition. Bien que la machine ne soit jamais construite en totalité de son vivant, elle représente une avancée dans le développement des machines à calculer automatiques .

**1831** : Joseph Henry invente le relais électrique, un interrupteur contrôlé électromagnétiquement permettant de transmettre un signal électrique sur de longues distances. Cette innovation marque une étape clé dans le contrôle et la commutation de circuits, ouvrant la voie aux futurs dispositifs de calcul électromécaniques.

**1834** : Charles Babbage conçoit les plans de la machine analytique, une machine programmable plus ambitieuse, qui fait de Babbage un précurseur de l'informatique moderne. Il n'aura pas le temps d'achever sa construction.

**1838** : *Samuel Morse* développe le code Morse, un système de communication utilisant deux états (signal long et signal court) pour représenter des lettres et des chiffres. Ce code binaire rudimentaire utilise des impulsions électriques pour transmettre des messages sur de longues distances par télégraphe. Le code Morse est une première application de la transmission d'informations sous forme de symboles binaires, anticipant le concept de codage de données en informatique.

**1843** : *Ada Lovelace* écrit des notes sur la machine analytique de Charles Babbage, dans lesquelles elle décrit des séquences d'instructions et introduit la notion de boucle (répétition d'instructions). En développant ce concept, elle conçoit le premier algorithme destiné à être exécuté par une machine, faisant d'elle la première programmeuse de l'histoire.

**1847** : *George Boole* propose un mode de calcul (avec les valeurs Vrai et Faux) permettant de traduire les raisonnements logiques par des opérations algébriques.

**1880** : Le ruban perforé est utilisé pour la première fois dans les télécommunications, notamment dans les télex, permettant de stocker et de transmettre des informations sous forme de trous codés.

**1904** : *John Ambrose Fleming* invente le tube diode, le premier dispositif électronique capable de redresser un courant électrique alternatif, en permettant le passage de courant dans une seule direction.

**1906** : *Lee De Forest* invente le tube triode, également appelé "audion", en ajoutant une grille de contrôle à la diode de Fleming. Son contrôle précis du flux de courant en fait un composant essentiel pour les circuits logiques et les systèmes binaires dans l'informatique naissante.

**1931** : L'ingénieur français *René Carmille*, au sein de la société Bull, développe les premières machines à cartes perforées destinées à l'administration et à la gestion des données. Bull devient un pionnier dans le domaine des technologies de traitement de données, en développant des machines capables de traiter rapidement des informations stockées sur cartes perforées.

**1936** : *Alan Turing* publie son article \*On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem\*, dans lequel il introduit le concept de machine de Turing. Cette machine théorique, capable de simuler tout algorithme, définit les bases de la calculabilité et de l'informatique théorique.

**1937** : *Claude Shannon*, dans sa thèse de maîtrise, démontre que l'algèbre booléenne peut être utilisée pour concevoir et simplifier des circuits électriques. En appliquant la logique booléenne aux circuits à relais et interrupteurs, Shannon établit les bases de la logique numérique.

**1938** : *Konrad Zuse* construit le Z1, le premier calculateur binaire mécanique programmable. Conçu et fabriqué dans l'appartement de ses parents en Allemagne, le Z1 utilise des opérations de calcul binaire et un programme stocké sur des rubans perforés.

**1941** : *Konrad Zuse* achève le Z3, le premier ordinateur programmable et entièrement automatique utilisant des relais électromécaniques. Le Z3 est capable d'effectuer des calculs arithmétiques en binaire et utilise un programme stocké sur des rubans perforés.

**1944** : Le Colossus II, conçu par *Tommy Flowers* et son équipe au Royaume-Uni, devient opérationnel à Bletchley Park. Il s'agit du premier ordinateur électronique à usage spécifique, construit pour décrypter les messages codés de l'armée allemande pendant la Seconde Guerre mondiale. Utilisant des milliers de tubes à vide pour réaliser des opérations logiques et arithmétiques, le Colossus II permet d'accélérer considérablement le décryptage, contribuant au succès des Alliés.

**1947** : Le transistor, inventé par *John Bardeen*, *Walter Brattain* et *William Shockley* aux laboratoires Bell aux États-Unis, marque une avancée majeure en électronique. Remplaçant les tubes à vide, le transistor est plus petit, plus fiable, et consomme moins d'énergie. Cette innovation fondamentale ouvre la voie à la miniaturisation des circuits électroniques et à la création d'ordinateurs plus performants et compacts, posant les bases de l'électronique moderne et de l'ère de l'informatique.

**1951** : L'UNIVAC I (Universal Automatic Computer I), conçu par *J. Presper Eckert* et *John W. Mauchly*, devient le premier ordinateur commercial aux États-Unis. Construit pour le Bureau du recensement américain, l'UNIVAC est le premier ordinateur capable de traiter des données en série et de lire des bandes magnétiques pour le stockage, offrant des performances sans précédent. Sa capacité à traiter des données volumineuses le rend populaire auprès des entreprises et des agences gouvernementales.

**1956** : Lors de la conférence de Dartmouth, aux États-Unis, le terme "intelligence artificielle" est utilisé pour la première fois. Sous la direction de *John McCarthy*, et avec la participation de chercheurs tels que *Marvin Minsky*, *Allen Newell*, et *Herbert A. Simon*, cette conférence marque le début officiel de l'étude de l'intelligence artificielle en tant que domaine scientifique distinct. Les participants y définissent l'IA comme la tentative de créer des machines capables de simuler des comportements humains intelligents.

**1958** : *Jack Kilby*, ingénieur chez Texas Instruments, invente le premier circuit intégré, également appelé puce électronique. En combinant plusieurs composants électroniques (transistor, résistance et condensateur) sur une seule plaque de semi-conducteur, le circuit intégré permet de réduire drastiquement la taille et le coût des circuits électroniques, tout en augmentant leur fiabilité.

**1958** : *John McCarthy*, professeur au MIT, développe le langage de programmation LISP (LISt Processing). Conçu initialement pour les applications en intelligence artificielle, LISP introduit des concepts novateurs tels que la manipulation de listes et la récursivité.

**1959** : Le langage de programmation COBOL (Common Business-Oriented Language) est développé aux États-Unis sous la direction de *Grace Hopper* et d'un comité de chercheurs et d'industriels. Conçu pour les applications de

gestion, COBOL est destiné à être un langage universel pour les entreprises et les administrations, facilitant le traitement des données commerciales.

**1966** : La série télévisée *Star Trek*, créée par *Gene Roddenberry*, fait ses débuts et présente des technologies avancées qui inspireront des décennies d'innovations en informatique et en électronique. Parmi les concepts futuristes de la série, on trouve les ordinateurs de bord capables de comprendre et de répondre aux commandes vocales, les "communicateurs" portables (qui inspireront le téléphone mobile), et le "PADD" (Personal Access Display Device), préfigurant les tablettes numériques modernes. *Star Trek* popularise aussi l'idée d'une intelligence artificielle bienveillante et d'interfaces homme-machine sophistiquées, influençant la recherche en interaction vocale, en intelligence artificielle et en informatique mobile.

**1967** : Le langage de programmation LOGO, conçu par *Seymour Papert*, *Wally Feurzeig*, et *Cynthia Solomon*, est développé au MIT (Massachusetts Institute of Technology) pour initier les enfants à la programmation et à la pensée informatique. LOGO utilise une "tortue graphique" pour permettre aux utilisateurs de dessiner des formes géométriques à l'aide de commandes simples, encourageant ainsi l'expérimentation et l'apprentissage interactif.

**1968** : *Douglas Engelbart* de l'Institut de recherche de Stanford présente la première souris informatique lors d'une démonstration révolutionnaire connue sous le nom de "The Mother of All Demos" (La mère de toutes les démos). Conçue pour faciliter l'interaction avec un ordinateur, la souris, un petit dispositif en bois avec deux roues, permet de déplacer un curseur sur un écran.

**1969** : Le système informatique embarqué de la mission Apollo 11, développé par *Charles Stark Draper*, *Margaret Hamilton*, et leur équipe du MIT Instrumentation Laboratory, joue un rôle crucial dans le succès de la première mission humaine sur la Lune. L'Apollo Guidance Computer (AGC), avec son logiciel de navigation conçu par Margaret Hamilton, est l'un des premiers systèmes en temps réel capables de gérer les calculs de navigation et d'atterrissement de manière autonome.

**1972** : *Dennis Ritchie* développe le langage de programmation C aux laboratoires Bell. Conçu pour écrire des systèmes d'exploitation, C devient rapidement essentiel pour le développement de logiciels grâce à sa combinaison d'efficacité et de flexibilité. Ce langage de bas niveau permet de manipuler directement la mémoire tout en restant relativement portable. Utilisé pour réécrire le système d'exploitation Unix, C gagne en popularité et devient la base de nombreux autres langages, comme C++, Java et Python. Aujourd'hui encore, C est largement utilisé pour des applications nécessitant performance et contrôle matériel, comme les systèmes embarqués et les systèmes d'exploitation.

**1973** : *Robert Metcalfe* conçoit le protocole Ethernet au Xerox PARC, permettant la communication rapide entre ordinateurs sur un réseau local. Ethernet devient rapidement le standard pour les réseaux locaux (LAN), facilitant le partage de ressources et la communication entre machines.

**1975** : *Bill Gates et Paul Allen* fondent Microsoft, initialement pour développer et vendre une version du langage BASIC pour l'Altair 8800. Microsoft deviendra l'une des entreprises les plus influentes de l'industrie informatique, avec des produits phares comme le système d'exploitation Windows.

**1976** : *Steve Jobs et Steve Wozniak* cofondent Apple Computer et lancent l'Apple I, un des premiers ordinateurs personnels pré-assemblés. L'Apple I est suivi par l'Apple II, qui connaît un grand succès commercial et contribue à populariser l'informatique personnelle.

**1980** : *Tim Berners-Lee*, chercheur au CERN, propose un projet de système de gestion de l'information qui deviendra le World Wide Web. Il développe les concepts de l'URL, du HTTP et du HTML, posant les bases de la navigation sur Internet telle que nous la connaissons aujourd'hui.

**1981** : IBM lance le *IBM PC*, un ordinateur personnel basé sur le processeur Intel 8088 et utilisant le système d'exploitation MS-DOS de Microsoft. Le succès de l'IBM PC établit des standards matériels et logiciels qui influenceront durablement l'industrie informatique.

**1984** : Apple lance le *Macintosh*, le premier ordinateur personnel à succès doté d'une interface graphique conviviale et d'une souris. Le Macintosh popularise les interfaces utilisateur graphiques, influençant le développement ultérieur des systèmes d'exploitation.

**1985** : *Richard Stallman* fonde la Free Software Foundation et lance le projet GNU, visant à développer un système d'exploitation entièrement libre. Ce mouvement pose les bases du logiciel libre et de l'open source, influençant des projets majeurs comme le noyau Linux.

**1991** : *Linus Torvalds* annonce la première version du noyau *Linux*, un système d'exploitation open source inspiré du projet GNU. Linux devient une alternative populaire aux systèmes d'exploitation propriétaires, particulièrement dans les serveurs et les environnements de développement.

**1993** : Le navigateur web *Mosaic* est publié, rendant le World Wide Web accessible à un public plus large grâce à une interface utilisateur intuitive. Mosaic contribue à l'explosion de la popularité du Web et pave la voie à des navigateurs ultérieurs comme Netscape Navigator et Internet Explorer.

**1995** : *Sun Microsystems* introduit le langage de programmation *Java*, conçu pour être portable et indépendant de la plateforme. Java devient rapidement populaire pour le développement d'applications web et d'applications d'entreprise en raison de sa portabilité et de sa robustesse.

**2007** : Apple lance le premier *iPhone*, combinant un téléphone mobile, un lecteur de musique et un navigateur Internet avec une interface tactile innovante. L'iPhone révolutionne l'industrie des télécommunications et inaugure l'ère des smartphones modernes.

**2011** : *IBM* présente *Watson*, un système d'intelligence artificielle capable de comprendre le langage naturel et de répondre à des questions complexes. Watson remporte le jeu télévisé Jeopardy!, démontrant les avancées significatives de l'IA dans le traitement du langage naturel.

**2024** : La société française *Pasqal*, fondée par le lauréat du prix Nobel de physique *Alain Aspect*, réalise des avancées majeures en informatique quantique. Pasqal livre son premier ordinateur quantique au Commissariat à l'énergie atomique et signe des contrats avec des industriels majeurs, marquant un tournant significatif dans le développement de l'informatique quantique.



## CHAPITRE 15

### BIOGRAPHIES DES FIGURES MAJEURES

#### **Howard H. Aiken**

*9 mars 1900 – 14 mars 1973*

Howard H. Aiken est un ingénieur et physicien américain, connu pour son rôle dans la conception de l'un des premiers calculateurs électromécaniques, le Harvard Mark I, achevé en 1944. Inspiré par les travaux de Charles Babbage, Aiken a collaboré avec IBM pour créer cette machine capable de résoudre des calculs complexes en utilisant des relais et des bandes perforées. Le Harvard Mark I a été largement utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale pour des calculs militaires. Aiken est également reconnu pour avoir posé les bases de l'enseignement en informatique.

#### **Al-Khwarizmi**

*vers 780 – vers 850*

Al-Khwarizmi était un mathématicien, astronome et géographe perse, considéré comme l'un des pionniers des mathématiques modernes. Il a vécu durant l'âge d'or islamique à Bagdad, où il a travaillé à la Maison de la Sagesse. Al-Khwarizmi est célèbre pour son ouvrage *Kitāb al-Hisāb al-jabr wa-l-muqābala*, dans lequel il introduit des méthodes pour résoudre des équations linéaires et quadratiques, jetant ainsi les bases de l'algèbre. Son nom a donné le terme « algorithme », en raison de son approche méthodique du calcul, un concept fondamental en informatique. Les traductions de ses travaux en latin ont influencé les mathématiques en Europe pendant des siècles.

### **Gene Amdahl**

*16 novembre 1922 – 10 novembre 2015*

Gene Amdahl était un informaticien et entrepreneur américain, pionnier de l'architecture des ordinateurs centraux. Il a été le principal architecte de l'IBM System/360, une famille d'ordinateurs compatibles qui a révolutionné le traitement des données en entreprise. En 1970, il fonde Amdahl Corporation, proposant des mainframes compatibles IBM à moindre coût, brisant ainsi le monopole d'IBM. Il est également connu pour avoir formulé la loi d'Amdahl, une référence en calcul parallèle.

### **John Vincent Atanasoff**

*4 octobre 1903 – 15 juin 1995*

John Vincent Atanasoff est un physicien et mathématicien américain, souvent reconnu comme l'un des inventeurs de l'ordinateur moderne. Avec l'aide de Clifford Berry, il a conçu en 1937 le premier calculateur électronique numérique, connu sous le nom d'Atanasoff-Berry Computer (ABC). Ce calculateur utilisait des tubes à vide, le système binaire et une mémoire capacitive pour résoudre des systèmes d'équations linéaires. Les travaux d'Atanasoff ont influencé le développement des ordinateurs électroniques, bien que son travail ait été largement méconnu pendant des décennies.

### **Jean Bartik**

*27 décembre 1924 – 23 mars 2011*

Jean Bartik était une des six premières programmeuses de l'ENIAC, le premier ordinateur électronique généraliste. Elle a participé au développement des techniques de programmation de bas niveau, à une époque où le logiciel était encore conçu manuellement. Son travail a été essentiel pour l'implantation pratique de l'informatique.

### **John Backus**

*3 décembre 1924 – 17 mars 2007*

John Backus était un informaticien américain, principalement connu pour avoir dirigé le développement de Fortran (Formula Translation), le premier langage de programmation de haut niveau largement utilisé. Créé chez IBM dans les années 1950, Fortran a révolutionné le calcul scientifique. Backus a également co-inventé la notation BNF (Backus-Naur Form), un mécanisme essentiel pour décrire la syntaxe des langages de programmation.

### **Tim Berners-Lee**

*né le 8 juin 1955*

Tim Berners-Lee est un informaticien britannique, connu pour avoir inventé le World Wide Web en 1989. Travaillant au CERN, il a proposé un système de gestion de l'information utilisant l'hypertexte, posant ainsi les bases de la navigation sur Internet telle que nous la connaissons aujourd'hui. Il a également fondé le World Wide Web Consortium (W3C) pour établir des standards web.

### **George Boole**

*2 novembre 1815 – 8 décembre 1864*

George Boole est un mathématicien et logicien britannique, reconnu pour ses travaux en logique mathématique et pour avoir fondé l'algèbre de Boole. Cette forme de logique symbolique, basée sur les opérations binaires comme ET, OU, et NON, est à la base des circuits logiques des ordinateurs modernes. Boole a ainsi posé les fondements théoriques de l'informatique, influençant des domaines tels que les mathématiques, l'électronique, et l'informatique. Ses recherches ont ouvert la voie à l'utilisation des symboles pour représenter les opérations logiques, un concept clé dans le traitement de l'information numérique.

### **Vint Cerf**

*né le 23 juin 1943*

Vint Cerf est un informaticien américain, co-inventeur du protocole TCP/IP avec Robert Kahn. Il est considéré comme l'un des "pères de l'Internet" pour son rôle dans la conception des protocoles de communication à la base du réseau mondial. Il a aussi contribué à de nombreuses initiatives de normalisation et de gouvernance d'Internet.

### **Edgar F. Codd**

*23 août 1923 – 18 avril 2003*

Edgar F. Codd était un informaticien britannique naturalisé américain, célèbre pour avoir inventé le modèle relationnel des bases de données dans les années 1970. Ce modèle a transformé la manière dont les données sont stockées, interconnectées et consultées, donnant les bases des SGBD modernes comme Oracle, SQL Server et PostgreSQL.

### **Seymour Cray**

*28 septembre 1925 – 5 octobre 1996*

Seymour Cray était un ingénieur électrique et informaticien américain, souvent appelé le « père du superordinateur ». Il a fondé Cray Research et a conçu des superordinateurs innovants qui ont dominé le marché dans les années 1970 et 1980, établissant de nouvelles normes en matière de calcul haute performance.

### **John Presper Eckert**

*9 avril 1919 – 3 juin 1995*

John Presper Eckert est un ingénieur et informaticien américain, connu pour avoir co-développé l'ENIAC, le premier ordinateur électronique numérique polyvalent, avec John Mauchly. Diplômé de l'université de Pennsylvanie, il a également joué un rôle clé dans la conception de l'EDVAC et de l'UNIVAC, les premiers ordinateurs commerciaux. Eckert a apporté des innovations majeures dans le design matériel, notamment sur les circuits électroniques, et est considéré comme l'un des pionniers de l'industrie informatique moderne.

### **Douglas Engelbart**

*30 janvier 1925 – 2 juillet 2013*

Douglas Engelbart est un inventeur et pionnier de l'informatique. Il est surtout connu pour avoir inventé la souris d'ordinateur et pour son travail dans le domaine de l'interface homme-machine. Engelbart a joué un rôle clé dans le développement des interfaces utilisateur modernes et a proposé des idées qui ont influencé l'évolution des technologies de l'information, comme les hyperliens et la collaboration en ligne.

### **Federico Faggin**

*né le 1er décembre 1941*

Federico Faggin est un physicien et ingénieur italien naturalisé américain, concepteur du premier microprocesseur commercial (Intel 4004). Il a cofondé Zilog, où il a dirigé la création du célèbre processeur Z80. Son travail a contribué de façon décisive à l'émergence de la micro-informatique.

### **Lee De Forest**

*26 août 1873 – 30 juin 1961*

Lee De Forest était un inventeur et ingénieur américain, souvent surnommé « le père de la radio » en raison de ses contributions majeures dans le domaine de l'électronique et de la communication sans fil. Né dans l'Iowa, De Forest est surtout connu pour l'invention de la triode en 1906, un tube électronique à trois électrodes qui a permis l'amplification des signaux électriques. Ce composant, également appelé « audion », a révolutionné la transmission des signaux radio et a joué un rôle crucial dans le développement de la radiodiffusion, de la téléphonie et des premières technologies informatiques.

En contrôlant le flux d'électrons dans un tube à vide, la triode a permis d'amplifier et de modifier des signaux avec une précision inédite, ouvrant la voie à la création des premiers systèmes de communication de masse et à l'émergence des ordinateurs. Bien que controversé en raison de conflits fréquents sur la paternité de ses inventions, Lee De Forest a laissé un héritage durable en posant les bases des technologies électroniques modernes. Ses innovations ont marqué l'histoire des télécommunications et de l'informatique, et son travail continue d'être reconnu comme une étape fondamentale dans le développement des systèmes électroniques.

## Fibonacci

*vers 1170 – vers 1250*

Fibonacci, de son vrai nom Leonardo de Pise, était un mathématicien italien dont les travaux ont profondément influencé les mathématiques européennes médiévales. Né à Pise, il a voyagé dans le monde méditerranéen, où il a découvert les mathématiques arabes. Son ouvrage le plus célèbre, *Liber Abaci* (Livre de l'abaque), publié en 1202, introduit en Europe le système de numération indo-arabe ainsi que l'utilisation du zéro, révolutionnant les pratiques de calcul. Fibonacci est également connu pour la suite numérique qui porte son nom, où chaque terme est la somme des deux précédents, une série avec des propriétés remarquables en mathématiques et en nature. Ses travaux ont contribué à la diffusion des méthodes algébriques en Europe.

## John Ambrose Fleming

*29 novembre 1849 – 18 avril 1945*

John Ambrose Fleming était un physicien et ingénieur électricien britannique, principalement connu pour avoir inventé la diode à vide en 1904. Cet appareil, qui permet de redresser les courants électriques, a joué un rôle clé dans le développement des technologies de la radio et de l'électronique. Son invention a également marqué le début de l'ère de l'électronique et a été fondamentale pour le développement des premiers ordinateurs.

## Bill Gates

*né le 28 octobre 1955*

Bill Gates est un entrepreneur et informaticien américain, co-fondateur de Microsoft Corporation. Il a contribué à populariser l'ordinateur personnel avec le système d'exploitation Windows. Gates est également connu pour ses activités philanthropiques à travers la Fondation Bill et Melinda Gates, qui finance des initiatives en santé mondiale et en éducation.

## Hopper Grace

*9 décembre 1906 – 1er janvier 1992*

Grace Hopper était une informaticienne américaine et une contre-amirale de la marine américaine. Elle est surtout connue pour avoir développé le premier compilateur pour un langage de programmation et pour avoir popularisé l'idée de langages de programmation indépendants des machines, menant à la création de COBOL. Ses contributions ont marqué un tournant dans l'usage des ordinateurs dans l'industrie et les sciences.

## Herman H. Goldstine

*13 septembre 1913 – 16 juin 2004*

Herman H. Goldstine est un mathématicien et informaticien américain, connu pour son rôle dans le développement des premiers ordinateurs électroniques. Pendant la Seconde Guerre mondiale, il travaille sur le projet de l'ENIAC en collaboration avec John Presper Eckert et John Mauchly, jouant un rôle clé dans la planification et la gestion du projet. Goldstine a également contribué au développement de

l'EDVAC, en introduisant l'idée d'une architecture de stockage des programmes en mémoire. Il est l'un des pionniers de l'informatique moderne et a coécrit avec John von Neumann des travaux fondamentaux sur les ordinateurs numériques.

### **James Gosling**

*né le 19 mai 1955*

James Gosling est un informaticien canadien, surtout connu pour avoir créé le langage de programmation Java en 1995. Java est devenu l'un des langages les plus utilisés au monde, notamment pour le développement d'applications web, mobiles et d'entreprise.

### **Margaret Hamilton**

*née le 17 août 1936*

Margaret Hamilton est une informaticienne et ingénierie en systèmes américaine. Elle a dirigé l'équipe de développement logiciel du programme Apollo à la NASA, contribuant de manière significative au succès des missions lunaires. Son travail a jeté les bases de l'ingénierie logicielle moderne, et elle est reconnue pour avoir popularisé le terme « engineering software ».

### **Fou Hi**

*vers 2852 av. J.-C. – vers 2737 av. J.-C.*

Fou Hi est un personnage légendaire de la mythologie chinoise, souvent considéré comme l'un des trois souverains et cinq empereurs de la Chine ancienne. Il est réputé pour avoir introduit des avancées culturelles et technologiques majeures, notamment l'invention des huit trigrammes (Bagua), qui constituent la base du système divinatoire du Yi Jing (Livre des changements). Les trigrammes sont également considérés comme une représentation symbolique du système binaire. Fou Hi est également crédité de la création des premiers filets de pêche et de l'élevage des animaux domestiques, contribuant ainsi au développement de la civilisation chinoise.

### **Steve Jobs**

*24 février 1955 – 5 octobre 2011*

Steve Jobs était un entrepreneur et inventeur américain, co-fondateur d'Apple Inc. Il a joué un rôle central dans la révolution de l'ordinateur personnel avec le Macintosh, et a transformé plusieurs industries, notamment la musique, le cinéma d'animation et la téléphonie mobile, avec des produits emblématiques comme l'iPod, l'iPhone et l'iPad.

### **Alan Kay**

*né le 17 mai 1940*

Alan Kay est un informaticien américain, pionnier de la programmation orientée objet et de l'interface utilisateur graphique. Il a contribué au développement du langage Smalltalk et a été l'un des premiers à conceptualiser l'ordinateur portable et les interfaces utilisateur modernes.

### **Donald Knuth**

*10 janvier 1938 –*

Donald Knuth est un informaticien américain, reconnu pour sa série monumentale *The Art of Computer Programming*, qui explore les fondements mathématiques de la programmation. Il a également conçu le système de composition typographique TeX et le langage METAFONT. Knuth est un théoricien majeur en algorithmique et a introduit de nombreuses notations et techniques largement adoptées en informatique. Ce livre est d'ailleurs rédigé en LaTeX, le système qu'il a lui-même créé.

### **Hedy Lamarr**

*9 novembre 1914 – 19 janvier 2000*

Hedy Lamarr était une actrice et inventrice austro-américaine. Pendant la Seconde Guerre mondiale, elle a co-inventé une technologie de saut de fréquence pour les communications radio, visant à empêcher le brouillage des torpilles. Cette innovation a jeté les bases des technologies sans fil modernes, telles que le Wi-Fi et le Bluetooth.

### **Gottfried Wilhelm Leibniz**

*1 juillet 1646 – 14 novembre 1716*

Gottfried Wilhelm Leibniz était un philosophe, mathématicien, et logicien allemand, reconnu comme l'un des plus grands esprits de l'histoire. Il est co-créateur, avec Isaac Newton, du calcul infinitésimal et est également célèbre pour ses travaux en logique et en philosophie. Leibniz a aussi développé le concept du système binaire, qui forme aujourd'hui la base de l'informatique moderne. Il a vu dans ce système une représentation universelle des lois de la logique, une vision qui a influencé le développement des ordinateurs et des systèmes numériques.

### **Barbara Liskov**

*née en 1939*

Barbara Liskov est une informaticienne américaine, pionnière dans le domaine de la programmation orientée objet et des systèmes distribués. Elle a contribué au développement du langage CLU et a formulé le principe de substitution de Liskov, fondamental pour la théorie des types. Lauréate du prix Turing, elle a joué un rôle majeur dans l'évolution de l'ingénierie logicielle.

### **Ada Lovelace**

*10 décembre 1815 – 27 novembre 1852*

Augusta Ada Byron, fille unique du poète Lord Byron, est devenue la comtesse Ada Lovelace par son mariage avec William King en 1835. En 1838, William King est élevé au rang de comte de Lovelace, ce qui confère à Ada le titre de comtesse.

Lovelace est considérée comme la première programmeuse informatique de l'histoire. Elle a collaboré avec Charles Babbage sur ses projets de machines calculatrices, notamment la Machine Analytique. Entre 1842 et 1843, elle traduit un article de l'ingénieur italien Luigi Menabrea sur cette machine et y ajoute des notes personnelles. Parmi celles-ci, la célèbre Note G présente un algorithme destiné à être exécuté par la machine pour calculer les nombres de Bernoulli, anticipant ainsi l'ère de l'informatique moderne.

### **John McCarthy**

*4 septembre 1927 – 24 octobre 2011*

John McCarthy était un informaticien américain, considéré comme l'un des pères de l'intelligence artificielle. Il est l'inventeur du langage Lisp, l'un des plus anciens langages encore utilisés, et a introduit le terme « intelligence artificielle » en 1955. Il a aussi joué un rôle majeur dans le développement du partage de temps sur les ordinateurs.

### **John William Mauchly**

*30 août 1907 – 8 janvier 1980*

John William Mauchly est un physicien et informaticien américain, célèbre pour avoir co-conçu avec Presper Eckert l'ENIAC, le premier ordinateur électronique numérique généraliste, achevé en 1945. Il a également contribué au développement de l'EDVAC et de l'UNIVAC, les premiers ordinateurs commerciaux. Visionnaire, Mauchly a joué un rôle clé dans la transition des ordinateurs de la recherche militaire à des applications commerciales, posant ainsi les bases de l'industrie informatique moderne.

### **Roland Moreno**

*11 juin 1945 – 29 avril 2012*

Roland Moreno est un inventeur français connu pour avoir inventé la carte à puce mémoire en 1974. Cette invention a révolutionné de nombreux secteurs, notamment le domaine bancaire avec les cartes de crédit et le paiement sécurisé, ainsi que l'industrie des télécommunications avec les cartes SIM. Son travail a eu un impact considérable sur la sécurité des transactions électroniques et la protection des données.

### **John von Neumann**

*28 décembre 1903 – 8 février 1957*

John von Neumann était un mathématicien, physicien et informaticien d'origine hongroise, naturalisé américain, considéré comme l'un des penseurs les plus influents du XX<sup>e</sup> siècle dans de nombreux domaines scientifiques. Il a apporté des contributions majeures en mathématiques pures, en physique quantique, en économie (théorie des jeux) et surtout en informatique.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, von Neumann a participé au projet Manhattan, mais son nom reste surtout associé à l'architecture dite *de von Neumann*, qu'il formalise en 1945. Ce modèle conceptuel définit une machine universelle composée d'une mémoire, d'une unité de traitement arithmétique, d'un registre d'instructions, et d'un mécanisme de contrôle, le tout piloté par un programme stocké en mémoire. Cette architecture est devenue le socle des ordinateurs modernes.

Visionnaire, von Neumann s'est aussi intéressé à la modélisation du cerveau, aux automates cellulaires, et aux systèmes auto-reproducteurs. Son approche interdisciplinaire et sa rigueur conceptuelle ont profondément marqué la science contemporaine. Il demeure une figure incontournable de l'histoire de l'informatique.

### **Radia Perlman**

*née en 1951*

Radia Perlman est une informaticienne américaine, connue pour avoir conçu le protocole Spanning Tree, qui permet la résilience et l'organisation automatique des réseaux Ethernet. Elle a également travaillé sur des protocoles de routage pour les réseaux IP, et est surnommée la "mère de l'Internet" pour ses apports fondamentaux aux infrastructures réseaux.

### **Dennis Ritchie**

*9 septembre 1941 – 12 octobre 2011*

Dennis Ritchie était un informaticien américain, connu pour avoir créé le langage de programmation C et pour sa participation au développement du système d'exploitation Unix. Ses contributions ont eu un impact profond sur le développement des logiciels modernes et des systèmes d'exploitation.

### **George Stibitz**

*30 avril 1904 – 31 janvier 1995*

George Stibitz est un mathématicien et ingénieur américain, souvent considéré comme l'un des pionniers de l'informatique moderne. En 1937, alors qu'il travaillait aux Bell Telephone Laboratories, il conçoit le premier additionneur binaire utilisant des relais électromécaniques. En 1939, il développe le Model I, également connu sous le nom de Complex Number Calculator, la première machine calculatrice capable d'être contrôlée à distance. Sa démonstration historique en 1940 depuis Dartmouth College marque un jalon dans le calcul distribué et l'informatique en réseau.

### **Linus Torvalds**

*né le 28 décembre 1969*

Linus Torvalds est un ingénieur logiciel finlandais, principalement reconnu pour avoir initié le développement du noyau Linux en 1991. Ce projet open source est devenu le cœur de nombreuses distributions Linux, largement utilisées dans les serveurs, les superordinateurs et les appareils embarqués. Torvalds a également créé le système de contrôle de version Git.

### **Alan Turing**

*23 juin 1912 – 7 juin 1954*

Alan Turing est un mathématicien et logicien britannique, largement considéré comme le père de l'informatique moderne. Il a contribué de manière significative au développement des concepts d'algorithmes et de machines calculatrices avec la machine de Turing. Ses travaux sur le décryptage des messages codés pendant la Seconde Guerre mondiale ont eu un impact décisif sur l'issue du conflit. Turing a également fait des recherches sur l'intelligence artificielle et la morphogenèse.

### **Niklaus Wirth**

*15 février 1934 –*

Niklaus Wirth est un informaticien suisse, connu pour avoir conçu plusieurs langages de programmation influents, dont Pascal, Modula et Oberon. Il a contribué à la théorie et à la pratique de la conception de compilateurs et a joué un rôle clé dans l'enseignement de l'informatique. Wirth a reçu le prix Turing en 1984 pour ses contributions fondamentales aux langages et aux systèmes de programmation.

### **Konrad Zuse**

*22 juin 1910 – 18 décembre 1995*

Konrad Zuse est un ingénieur et inventeur allemand, considéré comme le créateur du premier ordinateur programmable fonctionnel. En 1938, il achève le Z1, une machine mécanique binaire révolutionnaire. Il poursuit avec le Z3 en 1941, le premier ordinateur entièrement électromécanique, capable de calculs en virgule flottante. Zuse a également introduit le premier langage de programmation de haut niveau, le Plankalkül, bien qu'il n'ait été publié qu'après la guerre. Ses travaux posent les bases de l'informatique moderne en Europe.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.Moreau *ainsi naquit l'histoire de l'informatique*, DUNOD Informatique, 1982.
- [2] Philippe Breton, *Histoire de l'informatique*, Éditions La Découverte, 1987.
- [3] Jean-Yvon Birrien, *Histoire de l'informatique*, Presses Universitaires de France, 2<sup>e</sup> édition, 1992.
- [4] Simon Singh, *Histoire des codes secrets : de l'Égypte des pharaons à l'ordinateur quantique*, Éditions Jean-Claude Lattès, 1999.
- [5] Philippe Roose, *L'âge d'or... Histoire des consoles de jeux de salon*, Cépaduès Éditions, 2011.
- [6] Mickaël Launay, *Le grand roman des maths (de la préhistoire à nos jours)*, Éditions Flammarion, 2016.
- [7] Henri Lilen, *La belle histoire des révolutions numériques : De l'électronique aux défis de l'intelligence artificielle*, De Boeck Sup, 2019.
- [8] Philippe Roose, *Histoire des micro-ordinateurs*, Cépaduès Éditions, 2020.
- [9] Jan Dangerfield, Heather Davis, John Farndon, Jonny Griffiths, Tom Jackson, Mukul Patel, Sue Pope, Matt Parker, *L'histoire des mathématiques*, National Geographic, DK Penguin Random House, 2024.



## INDEX

- Ada Lovelace, 26, 34  
Aiken, 70  
Aiken Howard, 275  
Al-Khwarizmi, 275  
Alan Turing, 37  
algorithmes, 13  
Allen Paul, 170  
Altair 8800, 59, 111  
Altaïr, 112  
Alto, 142  
Amdahl Gene, 276  
Amstrad, 155  
Amstrad CPC 464, 135  
Apple II, 121, 220  
Apple Lisa, 132, 142  
architecture parallèle, 116  
Assembleur, 165  
Atanasoff John Vincent, 276  
Atari 400, 125  
Atari 5200, 232  
Atari 7800 ProSystem, 233  
Atari 800, 125  
Atari Jaguar, 233  
Atari VSC 2600, 231  
AutoCAD, 203  
Babbage Charles, 34  
Backus John, 276  
bande magnétique, 153  
Bartik Jean, 276  
BASIC, 113, 147, 169  
BBC Micro, 127  
Bell, 29  
Berners-Lee, 277  
Boole George, 2, 14, 19, 277  
boucle, 34, 36  
Burroughs B 5000, 86  
C, 173  
C++, 178  
calculabilité, 37  
calculateur ABC, 66  
carte perforée, 150  
carte à puce, 61  
casque de réalité virtuelle, 146  
cassette, 154  
CD, 158  
CDC 6600, 91  
Cerf Vint, 277  
Charles Babbage, 26  
chiffre de Vigénère, 35  
circuit imprimé, 52

- circuit intégré, 53
- CMOS, 55
- COBOL, 147, 167
- Codd Edgar, 277
- Commodore 64, 129
- Commodore PET, 124
- Commodore VIC-20, 128
- compilateur, 165
- Cray 1, 94
- Cray Seymour, 277
- crayon optique, 140
- cryptanalyse, 35
- cryptographie, 45
- DB2, 161
- dBase, 202
- dBase II, 203
- disque dur, 155
- disquette, 154
- DVD, 158
- Eckert, 40, 73
- Eckert John Presper, 278
- edge computing, 120
- EDVAC, 74
- Engelbart Douglas, 278
- ENIAC, 30, 49, 73
- Excel, 204
- Faggin Federico, 278
- Fairchild, 56
- Fairchild Channel F, 229
- Fibonacci, 279
- Fleming John Ambrose, 279
- Fortran, 147, 165
- Gates Bill, 169, 170, 204, 216, 217, 279
- Goldstain Herman, 279
- Gosling James, 280
- Hanimex, 230
- Honeywell 200, 88
- Hopper Grace, 279
- Howard Aiken, 27
- I.A., 116
- IA, 256
- IBM, 28
- IBM 1401, 83
- IBM 3033, 95
- IBM 3081, 97
- IBM 360, 89
- IBM 650, 79
- IBM 701, 78
- IBM 7030, 85
- IBM 704, 81
- IBM 709, 81
- IBM 7090, 84
- IBM AN/FSQ-7, 82
- IBM AS/400, 97
- IBM ES/9000, 99
- IBM eServer z10, 99
- IBM z13, 100
- IBM z14, 100
- IBM z15, 100
- IBM z16, 100
- IBM zEnterprise 196, 99
- IBM zEnterprise EC12, 100
- IHM, 139
- impact environnemental, 261
- informatique biologique, 259
- informatique quantique, 259
- Intel 4004, 56
- Intel 8008, 57
- Intel 8080, 58
- intelligence artificielle, 39
- interface graphique, 141
- Java, 184
- John Von Neumann, 74
- John von Neumann, 40
- Kim 1, 111
- Konrad Zuse, 27

- la puce électronique, 61
- la souris, 141
- lampe à vide, 48
- Langage Pascal, 172
- laser, 60
- Lee De Forest, 278
- lignes à retard, 151
- Lisp, 147, 180
- Lotus 123, 204
- Lovelace Ada, 36
- Machine analytique, 34
- Macintosh, 134
- MARK I, 29
- Mark I, 70, 164
- Mauchly, 40, 73
- microprocesseur, 56
- Microsoft, 170
- mini-ordinateurs, 54
- MO5, 133, 170
- Model I, 70
- Multiplan, 203
- mémoire flash, 159
- mémoire à tores de ferrites, 152
- NES, 158
- Nintendo Game, 232
- Nintendo Switch, 234
- Note G, 26
- OCR, 142
- Odyssey, 228
- ordinateur quantique, 259
- Oric 1, 131
- PDP 8, 93
- PlayStation, 234
- POO, 174
- portes logique, 54
- PS5, 235
- Python, 183
- qubits, 259
- RAM, 156
- relais électromécaniques, 151
- ROM, 157
- Scratch, 148
- SEAC, 76
- Sega Master System, 233
- SGBD, 161
- shell, 141
- Shepard David, 143
- Sinclair Clive, 126
- Sketchpad, 140
- SQL, 161
- SSD, 160
- synthèse de la parole, 145
- tambour magnétique, 153
- TI-99/4A, 124
- TO7, 133, 170
- Torres Quevedo, 27
- transistor, 49, 54
- transistor à pointe, 50
- TRS-80, 123
- tube diode, 48
- tube triode, 48
- tube à vide, 151
- tubes de williams, 152
- Turing Alan, 37
- UNIVAC, 77, 87
- VAX 11/780, 95
- Videopac G7000, 231
- VisiCalc, 202
- Visual Basic, 171
- Vulcan, 202
- Whirlwind, 80
- Word, 204
- WordPerfect, 202
- Wozniak Steve, 121
- Xbox, 234
- Xbox Series X, 235

- Xerox PARC, 142
- Z1, 67
- Z2, 68
- Z3, 69
- Z4, 69
- Z80, 59
- ZX Spectrum, 130
- ZX80, 126
- ZX81, 127
- écran tactile, 144
- éthique, 260



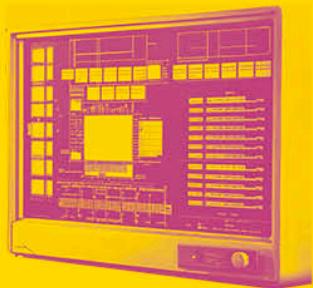












# HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

L'informatique est aujourd'hui au cœur de nos vies. Mais comment cette discipline, née du besoin de calcul et de logique, est-elle devenue l'un des piliers de notre monde ?

Ce livre propose un voyage passionnant, des premières machines mécaniques à l'intelligence artificielle, en passant par les ordinateurs personnels, les langages de programmation et la naissance d'Internet.

Pensé pour les passionnés, les enseignants, les curieux comme les lycéens en spécialité NSI, l'ouvrage retrace les grandes étapes de cette aventure humaine et technologique. Il donne vie aux figures pionnières – Ada Lovelace, Alan Turing, Steve Jobs – tout en éclairant les enjeux contemporains : éthique, environnement, réseaux, algorithmes et IA.

Un guide accessible, vivant et documenté pour comprendre comment l'informatique a transformé nos sociétés – et comment elle façonne déjà notre avenir.

Sébastien Inion découvre l'informatique en classe de 5<sup>e</sup> sur un TO7. Très vite, il recopie des lignes de BASIC sur MO5 à la bibliothèque municipale, où naît une passion qui ne le quittera plus. Devenu enseignant en informatique au lycée et à l'IUT de Carcassonne, il partage aujourd'hui son goût pour les machines, les langages, ... et leur histoire.



Retrouvez  
toutes nos  
publications

Imprimé en France

[www.editions-ellipses.fr](http://www.editions-ellipses.fr)



9 782340 108448