

Histoire de l'informatique, d'Internet et du *web*

Support de cours

Yannis Delmas

Histoire de l'informatique, d'Internet et du *web*: Support de cours

Yannis Delmas

Copyright © 2002-2009 Yannis Delmas

Table des matières

| | |
|--|----|
| Avant-propos | iv |
| 1. Présentation | iv |
| 2. Droits de copie | iv |
| 1. Une histoire ancienne | 1 |
| 1. Le développement de l'automatique | 1 |
| 1.1. Les premiers automates | 1 |
| 1.2. La première programmation | 2 |
| 2. Logique et algorithmes mathématiques | 3 |
| 3. Les calculateurs d'avant-guerre | 4 |
| 4. Les “bombes” analytiques | 6 |
| 5. Le dieu des victoires | 6 |
| 2. Les générations de l'ordinateur | 8 |
| 1. La naissance de l'ordinateur | 8 |
| 2. La première génération | 9 |
| 3. Les deuxième et troisième générations | 10 |
| 4. L'ère de la “loi” de Moore | 12 |
| 3. L'évolution logicielle | 15 |
| 1. L'évolution des systèmes | 15 |
| 2. L'évolution des langages de programmation | 16 |
| 3. Les applications et les formats de données | 17 |
| 4. L'évolution des usages | 18 |
| 1. Internet, un réseau « galactique » | 18 |
| 1.1. La légende du réseau | 18 |
| 1.2. Routage et interconnexion | 19 |
| 1.3. L'extension du Réseau | 20 |
| 2. Convergence et révolution des TIC | 21 |
| 2.1. La convergence des contenus : le multimédia | 21 |
| 2.2. La convergence des supports | 21 |
| 2.3. La convergence terminal-réseau | 22 |
| 2.4. La révolution “virtuelle” | 23 |
| 3. Le futur a commencé | 23 |

Avant-propos

1. Présentation

Ce document vise à présenter rapidement l'histoire de l'informatique, d'Internet et du *web*. Il sert de support au cours de même nom délivré en 2009-2010 aux premières années des masters *Web éditorial* [<http://sha.univ-poitiers.fr/masterweb/>], *Compétences documentaires avancées* et *Ingénierie des médias pour l'éducation* de l'Université de Poitiers [<http://www.univ-poitiers.fr/>]. Il est complété par une série d'exposés thématiques par les étudiants.

Yannis Delmas

<http://yannis.delmas-rigoutsos.nom.fr>

2. Droits de copie

Ce document a été conçu et mis en forme par Yannis Delmas, © 2009. Ce document a été conçu au format DocBook [<http://docbook.sourceforge.net/>] pour être consulté sous forme de pages web (HTML, cette version) ou sous forme imprimée (PDF, cette version). L'auteur remercie XMLMind pour son traitement de texte XML et DocBook, XXE, ainsi que les éditeurs de DocBook et des logiciels associés.

Ce document est libre de droits pour une utilisation pédagogique sans but lucratif. Toute utilisation non pédagogique et/ou en contexte commercial doit faire l'objet d'une autorisation explicite de l'auteur. Tous droits d'adaptation, modification et traduction réservés. Ce document est également libre de droits à fins de diffusion publique gratuite faisant référence à l'auteur, Yannis Delmas, à son site web, <http://yannis.delmas-rigoutsos.nom.fr>, et conservant le contenu, le titre original et la date de ce document.

Chapitre 1. Une histoire ancienne

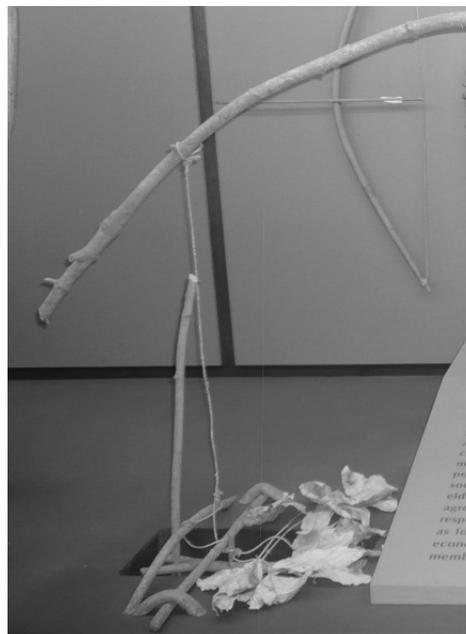
1. Le développement de l'automatique

L'informatique plonge ses racines historiques, loin dans le temps, dans deux grands mouvements du progrès technique : celui de l'automatique et celui de la mécanique. L'automatique vise à concevoir des dispositifs capables d'agir, voire de réagir à leur environnement, de façon autonome, sans intervention humaine. La mécanique, dans ce sens est la conception et la réalisation de mécanismes, de "machines", capables de suppléer l'Homme ou l'animal. À l'idéal, ces deux voies convergent donc vers la vie artificielle, vers le robot "androïde", mythe très ancien puisqu'on le trouve dans *l'Illiade* sous la forme de servantes d'or mécaniques du dieu Héphaïstos¹.

1.1. Les premiers automates

« Automate » signifie, en grec, qui se meut de soi-même ou par lui-même. La mise en oeuvre la plus ancienne de l'automatique que l'on puisse imaginer (on n'en a pas de preuve directe), en tout cas la plus prototypique, est celle de pièges de chasseurs. Celui-ci remplace un besoin de force physique (la course, la maîtrise d'un animal) et d'adresse (la maîtrise d'une arme), par une habileté technique. Une fois conçu et mis en place il "fonctionne" par lui-même, sans l'intervention de son auteur, voire même en son absence. Le piège peut être passif, c'est à dire utiliser essentiellement la force de la proie, comme une nasse ou un trou garni de pieux et caché sous des branchages, ou (ré)actif en utilisant une réserve d'énergie, par exemple un arbre fléchi comme dans l'exemple photographié ci-dessous.

Figure 1.1. Exemple de piège (maquette, NMNH, New York)



Le premier automatisme *stricto sensu* largement utilisé dont nous conservons des traces historiques est la clepsydre améliorée par Ctésibios (300 AEC-270 AEC). Une clepsydre, ou horloge à eau, est, pour l'essentiel, un récipient qui marque l'écoulement du temps en se remplissant d'eau peu à peu. Avant Ctésibios les clepsydres se remplissaient généralement à partir d'un réservoir supérieur percé d'un trou très fin. Le problème est qu'un tel écoulement n'est pas régulier (le débit ralentit au fur et à mesure que le réservoir se vide et que la pression baisse). Pour assurer un écoulement constant, une

¹L'*Illiade* mentionne d'ailleurs d'autres « *automatoi* » : des trépieds, des charmeuses, des chiens de garde et autres animaux, un géant de bronze. Héphaïstos est crédité de nombreuses autres créations admirables qui ne surprendraient dans aucune oeuvre de science-fiction moderne.

solution consiste à utiliser un réservoir de remplissage dont le niveau est maintenu constant, soit à l'aide d'un trop-plein (peu économe), soit à l'aide d'une soupape d'entrée (c'est la solution de Ctésibios). C'est la première régulation chronométrique connue. Elle sera suivie par de nombreux autres, comme les régulateurs à boules ou à ressort. Ces mécanismes sont analogiques ; le premier mécanisme de régulation non-analogique connu est la régulation des horloges par un pendule, inventée par Galilée (1564-1642).²

La mécanique, elle aussi, se développe au moins depuis l'Antiquité. Ses avatars les plus emblématiques sont probablement les moulins à vent, qui diffusent en Europe à partir de la fin du Moyen-âge, la machine à vapeur, moteur de la révolution industrielle, et les machines à calculer, dont celle que construisit Pascal pour aider son père dans ses calculs comptables fastidieux.

1.2. La première programmation

La grande aventure des automates mécaniques en Europe commence au 18^e siècle. On y invente de très nombreux automates à figure humaine ou animale, simulant telle ou telle action : manger, jouer de la musique, voire parler. Ces automates semblent alors incarner le mythe antique des servantes d'Héphaïstos/Vulcain, semblent créer une véritable vie artificielle, au point que certains se laisseront abuser par un remarquable automate *Joueur d'échecs...* qui n'était en réalité qu'une remarquable marionnette animée par un nain. Ils inspireront au 19^e siècle une littérature de fiction qui puisera également dans les légendes plus anciennes de statues animées, dont le célèbre golem de la mythologie juive. Pensons à *Frankenstein ou le Prométhée moderne* de Mary Shelley (1797-1851) ou à *L'Ève future* de Villiers de L'Isle-Adam (1838-1889).

À l'époque très répétitifs ces automates étaient de magnifiques oeuvres d'art, souvent réalisés par de talentueux horlogers. Pourtant, ils mettaient déjà en oeuvre une première forme de programmation à l'aide du dispositif appelé « arbre à cames » inventé dans l'Antiquité : en l'occurrence un cylindre (l'arbre) à picots (les cames), comme dans les boîtes à musique mécaniques actuelles. En tournant le cylindre fait apparaître devant des actionneurs fixes des picots. Les picots poussent des leviers qui induisent des actions mécaniques. Ce dispositif ne resta pas seulement un amusement réservé à une élite : il fut très tôt utilisé dans l'industrie, en particulier pour conduire des métiers à tisser automatiques. Cette programmation sera ensuite transférée sur des cartons perforés. Ces métiers améliorés par Joseph-Marie Jacquard en 1801 mettaient ainsi en oeuvre la première programmation binaire (carton/trou). Le principe du métier Jacquard, qui permet de réaliser des motifs de tissage très complexes et surtout d'industrialiser le dispositif³, est toujours en usage aujourd'hui et le carton perforé est longtemps resté le moyen de programmer les gros ordinateurs. Il est également toujours utilisé sur les orgues de Barbarie.

²Pour en savoir plus sur les automates, cf. [Verroust, s. 3 « l'histoire... »]. Attention, cette référence ne distingue pas comme nous entre mécanisme et automatisme (distinction il est vrai un peu artificielle, les deux étant souvent intimement liés).

³En 1812 il y avait en France 11 000 métiers Jacquard [Breton, p. 46].

Figure 1.2. Métier Jacquard (David Monniaux, Musée des Arts et Métiers, Paris)



Ce cas ne doit pas faire illusion : la machinisation débutée au 18^e siècle et qui se développa au 19^e et au début du 20^e siècle employait globalement assez peu d'automatisation. À cette époque on était, bien entendu, encore très loin de l'existence des ordinateurs. En 1920 paraissait pourtant déjà la pièce de théâtre *RUR (Rossum's Universal Robots)* du tchèque Karel Capek (1890-1938) qui met en scène des machines créées par l'Homme, les robots, qui finiront par l'anéantir. La science-fiction, qui n'existait pas encore, puise là un thème récurrent de son inspiration.

2. Logique et algorithmes mathématiques

L'histoire de l'ordinateur proprement dit commence elle aussi avant ses mise en oeuvre matérielles, avec des recherches fondamentales de logique et d'algorithmique qui mettent en jeu des objets mathématiques très abstraits. Leur réalisation attendra la "faveur" de la seconde Guerre mondiale et de la guerre froide qui s'ensuivit. Plus encore l'informatique s'appuie sur de nombreuses évolutions (voire révolutions) conceptuelles très antérieures, de l'ordre du siècle parfois. Toutes sont liées à la communication en général ou aux télécommunications en particulier.

L'élément le plus central de toute théorie de l'information, le changement conceptuel le plus fondamental, est la séparation fond-forme, l'articulation arbitraire qui peut s'établir entre un signifié et un signifiant, pour formuler cela en termes modernes (Ferdinand de Saussure, 1857-1913). Cette séparation, fondamentalement en germe dans le principe de l'écriture alphabétique, avait déjà intéressé les théoriciens du langage antiques et médiévaux, avant la linguistique moderne. Elle existait également dans un autre champ très pratique, là aussi depuis l'Antiquité, celui du cryptage de la correspondance pour des raisons de confidentialité, quel que soit son transport : à pied, à cheval ou électrique. Une des méthodes, simple, consistait à remplacer des lettres, des mots ou des expressions par des écritures spécifiques connues des seuls émetteur et destinataire.

Issue de ces réflexions sur le langage et de la nouvelle algèbre qui se met en place au 19^e siècle, la logique moderne reprend systématiquement et à nouveaux frais la question de l'articulation entre le sens, en particulier les valeurs de vérité (vrai/faux), et les notations, particulièrement dans le domaine mathématique. Dans un premier temps, suivant des principes remontant à l'arithmétique binaire de Leibniz (17^e s.: 1646-1716) et au diagrammes d'Euler (18^e s.: 1707-1783), les travaux de George Boole (19^e s.: 1815-1864) définissent une algèbre des valeurs de vérité. Ces travaux eurent un impact

considérable sur la logique naissante du début du 20^e siècle. On montra dès la fin du 19^e siècle que cette logique pouvait être mise en oeuvre par des relais “téléphoniques”⁴.

Parmi toutes les questions théoriques qui intéressaient la logique à cette époque, une en particulier fut déterminante pour l'informatique. Beaucoup de mathématiciens pensaient à l'époque que le travail de démonstration mathématique était mécanique et qu'il était en principe possible de concevoir un procédé systématique permettant (parfois au bout d'un temps très long) de résoudre toute question bien formulée. Cette idée conduisit dans un premier temps à axiomatiser les mathématiques, puis, dans un second temps à formaliser la notion-même de procédé de calcul.

Aujourd'hui on appelle « algorithme » un procédé de calcul décrit de façon systématique. Il permet, certaines données étant fournies, de produire un certain résultat (généralement la solution d'un problème donné). On connaît depuis l'Antiquité (au moins) de tels procédés, par exemple l'algorithme d'Euclide qui permet de poser une division de nombres entiers. Le nom « algorithme » a été donné en l'honneur du mathématicien perse Al-Khwârizmî (9^e s.: ~780-~850) qui est à l'origine de la notation symbolique et de l'introduction du zéro indien dans l'aire culturelle arabe et qui rédigea une encyclopédie des procédés de calcul connus à son époque. Dans le domaine de l'automatique, le mot sera conceptuellement renforcé au 19^e siècle par Ada Lovelace (19^e s.: 1815-1852). Les logiciens du début du 20^e siècle, en particulier Kurt Gödel (1906-1978) et Alan Turing (1912-1954), firent de ces algorithmes des objets mathématiques, à propos desquels il devenait donc possible de démontrer des théorèmes. Jusqu'au tiers du 20^e siècle on pensait qu'il existait des algorithmes pour résoudre chaque problème et même un algorithme universel susceptible de trancher tout problème. Émise par Leibniz, cette hypothèse sera formulée en termes modernes par le mathématicien David Hilbert (1862-1943) : existe-t-il un procédé mécanique permettant de trancher tout problème mathématique formulé de manière précise ? Hilbert était un immense mathématicien, très influent, et ce programme suscita de nombreuses recherches, dont émergea la logique mathématique. Les travaux de Gödel, Turing et Alonzo Church (1903-1995) qui s'ensuivirent montrèrent qu'un tel procédé ne peut pas exister.

L'objet mathématique inventé par Turing, qu'il décrit en 1936 donc bien avant les premiers ordinateurs, est sa fameuse « machine de Turing »⁵. Ses principaux éléments sont : une bande infinie constituée de cases mémoire, un module de lecture/écriture de la bande, une unité de contrôle automatique permettant à chaque étape d'écrire une donnée puis de se déplacer à gauche ou à droite, le tout en fonction de son état antérieur. Il s'agit bien d'un dispositif universel : il permet de mettre en oeuvre n'importe quel algorithme. Précisément (c'est ce qu'on appelle la « thèse de Church ») : tout traitement d'information réalisable mécaniquement peut être mis en oeuvre par une machine de Turing appropriée. Si la machine de Turing avait eu une contrepartie matérielle, ç'aurait été le premier ordinateur, c'est à dire la première machine à programme enregistré capable de traiter de façon universelle de l'information. La thèse de Church peut s'interpréter, aujourd'hui, en disant que tout traitement systématique d'information peut être réalisé par un ordinateur correctement programmé et suffisamment puissant. *Attention* : ceci ne signifie *pas* que tout problème est résoluble mécaniquement, seulement que ce qui est résoluble mécaniquement l'est informatiquement.

Dans son article de 1936, *On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem*, Turing fonde ainsi l'informatique, à la fois la science informatique et ce qui sera plus tard la technique informatique. Il donne aussi la première définition systématique des programmes informatiques.

3. Les calculateurs d'avant-guerre

À l'époque de la seconde Guerre mondiale les ordinateurs n'existaient pas encore. En revanche, l'industrie et le commerce connaissaient depuis longtemps les machines à calculer.

⁴En 1886, en 1910 et à nouveau en 1937. Cf. [Verroust, s. 5 « L'évolution... »] pour plus de détails sur ce point.

⁵Cf. le cours de *Technologies informatiques et multimédias*.

Figure 1.3. Une pascaline signée par Pascal en 1652 (David Monniaux, Musée des arts et métiers, Paris)



La première témoignage connu d'une machine à calculer est un courrier adressé à Kepler en 1623, mais celle-ci semble être restée inconnue jusqu'au 20^e siècle. La première machine réellement diffusée est l'oeuvre de Blaise Pascal (le philosophe, 1623-1662). La *Pascaline*, conçue en 1641 et réalisée en 1645, sera produite en grand nombre (pour à l'époque). Avec le temps ces machines deviendront de plus en plus commodes d'utilisation et bon marché. Dès la fin du 19^e siècle on sait que la demande est forte, en particulier dans les commerces de détail, pour les activités quotidiennes, et dans le domaine du recensement. Par exemple, la société IBM, qui dominera plus tard le marché informatique, fut créée en 1896 par Hollerith sous le nom « Tabulating Machines Corporation »⁶. Cette forte demande suscitera des améliorations successives, notamment le clavier, l'imprimante et une gestion de la retenue permettant d'utiliser de grands nombres sans bloquer la mécanique. Ces évolutions permirent notamment de construire des calculateurs proprement colossaux, en particulier aux États-Unis et en Allemagne. Comme pour le père de Pascal, il ne s'agissait pas tant d'effectuer des calculs particulièrement complexes mais simplement de faire plus rapidement des calculs répétitifs et très nombreux. Après les calculateurs purement mécaniques animés par une manivelle, puis un moteur thermique pour les plus gros, arrivèrent les calculateurs électromécaniques (le *Harvard MARK I*, le *Model I* et les premiers Z allemands) et électroniques (*ABC*, *ENIAC*), à base de relais « téléphoniques » et de tubes à vide (puis de transistors). En 1941, le Z3 de Konrad Zuse est le premier ordinateur universel programmable. En 1946, l'IBM 603 est le premier ordinateur électronique commercialisé.

Pourtant, malgré toutes ces évolutions, jusqu'à la fin de la seconde Guerre mondiale, le principe général d'organisation de ces calculateurs reste fondamentalement le même : celui de la *Pascaline* et du boulier (mais avec une infrastructure plus performante et parfois plus ou moins programmable)...

Deux exceptions, toutefois. En 1821, l'anglais Charles Babbage (1791-1871) conçoit les plans d'un ordinateur universel programmable en s'inspirant des travaux de Jacquard. Babbage ne réalisera qu'une petite partie de sa machine, trop complexe pour l'époque. En terme de programmes, on considère souvent qu'il avait eu l'idée d'un mécanisme de commande incluant le conditionnel, mais en réalité rien n'est sûr : on interprète là un écrit court et obscur d'Ada Lovelace. Son influence réelle sur le développement du calcul et de la jeune informatique est, en tout cas, indécélable. La seconde exception est Konrad Zuse qui développa pendant les années 1930 un ordinateur universel à programme enregistré, mais sans encore de conditionnel. Zuse, très fécond, sera longtemps le moteur (isolé) de la recherche allemande dans le domaine.

C'est à l'occasion de la seconde Guerre mondiale que ces machines sortiront des simples applications calculatoires et rejoindront l'histoire de l'informatique.

⁶Elle prendra le nom IBM en 1924, bien avant l'invention des ordinateurs.

4. Les “bombes” analytiques

L'histoire de l'informatique théorique (la logique) et celle des technologies de calcul qui lui donneront corps se rejoignent à l'occasion de la seconde Guerre mondiale, au Royaume Uni et aux États-Unis d'Amérique.

Contrairement à la première Guerre mondiale, guerre de positions et de confrontations étendues et durables, la Seconde guerre mondiale est marquée par les techniques de communication et de transport. C'est éminemment une guerre d'actions et de mouvements. Ceci sera déterminant dans l'avènement de l'informatique.

Qui dit actions et mouvements dit ordres d'actions et de mouvement... donc cryptage des communications. Le premier volet de l'aventure commence peu avant la guerre proprement dite, en 1931 : l'Europe sentait déjà poindre la menace de l'Allemagne nazi. Celle-ci utilisait alors un système mécanisé de cryptage, appelé Enigma, dont le chiffre (le code) changeait chaque jour. Une équipe polonaise de cryptanalyse, grâce à l'espionnage et aux mathématiques, réussit à en comprendre le fonctionnement et finalement à produire en 1934 des machines, appelées « bombes », testant systématiquement de nombreuses combinaisons Enigma. Il s'agissait de sorte de calculateurs spécialisés, entièrement mécaniques. Le dispositif passa en Angleterre après la chute de la Pologne et donna lieu à la création d'un centre de cryptanalyse à Bletchley Park qui fit appel, notamment, à l'un des meilleurs mathématiciens de l'époque : Turing - le même Turing que celui de la « machine de Turing ». Turing inventa une méthode très élaborée qui permettait de casser les chiffres Enigma successifs (ils avaient été améliorés) en moins d'une journée (leur durée de validité). Mais, plus encore, il fut à l'origine d'une machine plus performante encore que les “bombes” cryptanalytiques, le second ordinateur programmable moderne, opérationnel en décembre 1943, qui devait pouvoir attaquer le dispositif de cryptage, du haut-commandement lui-même : Colossus. [Singh, chap. 4]

Mouvement toujours, le second trait caractéristique de la seconde Guerre mondiale, était de faire intervenir abondamment (c'est peu dire) des projectiles. Qui dit projectiles, dit balistique... si on veut un tant soit peu atteindre sa cible. Or chaque canon, pour chaque type de projectile et éventuellement chaque condition de tir (de vent, par exemple) nécessite une table balistique permettant de régler l'angle du canon en fonction de la distance de la cible. Dès avant la guerre toutes les armées lourdement artillées avaient donc d'immenses besoins en calculs relativement simples mais très répétitifs. Les calculateurs humains, mêmes munis de machines à caculer restaient lents et surtout, faisaient de nombreuses erreurs dans ces calculs fastidieux. Pour cette raison l'armée étatsunienne investit abondamment dans les calculateurs électrotechniques puis électroniques. En 1946, l'*ENIAC* fut le premier ordinateur à calculer une trajectoire plus rapidement que le projectile. Il entra en service trop tard pour la balistique mais contribua à l'arme nucléaire [Breton, pp. 108-109]. À la même époque Zuse construisait des calculateurs embarqués pour bombes volantes, permettant une première forme de guidage [Breton, pp. 63 sqq.]. Dans ces deux cas les coûts de recherche et développement étaient considérables - à la mesure d'une commande militaire de temps de guerre.

5. Le dieu des victoires

Ces deux légendes établirent le nouveau « cerveau électronique », comme « dieu des victoires », selon la formule de [Truong]. Les calculateurs, et plus tard les ordinateurs, devenaient le symbole même de la performance, de l'avantage technique décisif (c'est à dire qui décide de la victoire). Pendant les deux crises suivantes, la guerre froide puis la crise (donc la guerre) économique permanente d'après les chocs pétroliers, il s'imposait dans les discours comme l'arme absolue, l'outil qui devait permettre de triompher de tout. En parallèle, la science-fiction s'imposait comme genre littéraire et dépeignait volontiers l'ordinateur ou les robots comme le nouvel esclave. De fait la machine devenait concurrente de l'Homme comme force de production : l'outil n'était plus nécessairement le prolongement de la main.⁷

⁷Cette concurrence de la machine date bien sûr d'avant le 20e siècle. Sans attendre l'automatisation, elle est déjà présente dans la mécanisation qui porte la révolution industrielle. Un des objectifs de Jacquard quand il inventa son métier à tisser programmable en 1801 était de faire disparaître le travail des enfants (qui se reporta ailleurs, en réalité). C'est une des origines de la révolte des Canuts (1831).

Deux exemples. [Breton, p. 68] décrit ainsi le *Harvard MARK I* : « L'aspect extérieur de la machine était impressionnant : elle mesurait 16,6 m de long, 2,6 m de hauteur et comprenait 800 000 éléments. La machine pesait 5 tonnes et il fallait plusieurs tonnes de glace chaque jour pour la refroidir. ». Bien entendu cette machine n'était pas destinée qu'à calculer : c'était un monstre, c'est à dire un objet destiné à être montré, un signe extérieur de puissance. En 1949, alors que la Guerre froide était déjà bien installée, l'URSS se dotait de l'arme nucléaire. Comme les Soviétiques disposaient de bombardiers à long rayon d'action les Étatsuniens devaient se doter d'un système de surveillance et d'interception capable de répondre promptement. Or les systèmes radar de l'époque, fondés sur la vigilance humaine, induisaient un temps de réponse trop long. Les États-unis mirent donc en place un réseau de radars automatisés, *Sage*, capable de guider une interception en temps-réel. La guerre devenait une guerre de vitesse où l'Homme ne pouvait plus suivre. L'ordinateur dépassait explicitement les capacités de l'Homme dans un domaine considéré comme intellectuel. Certains se prirent à imaginer un monde où un « pur cerveau », un grand ordinateur, pourrait superviser l'humanité entière pour assurer son bien-être. Pourtant paraissait à la même époque le célèbre roman de G. Orwell *1984* (1949) : le rêve des uns peut être le cauchemard des autres.

Cette idée rencontra-t-elle des résistances ? Pour ainsi dire aucune - ni de véritable alternative. Même les étudiants rebelles des années 1960 ne s'y sont pas opposés. Ils s'opposèrent seulement à l'informatique de leur époque, pas au « dieu des victoires », en créant la micro-informatique et le mouvement contributif/opensource. Parmi les rares voix discordantes, Truong [2001] compare cette vision de l'ordinateur et du progrès technique à une sorte de dieu auquel nous sacrifions aveuglément nos enfants. Il souligne combien certains secteurs de l'économie mondiale qui se sont informatisés à tour de bras à la fin du 20e siècle ont perdu en productivité. Il rappelle aussi combien les entreprises et administrations ont été capables de dépenser en peu de temps pour «sauver» l'informatique de l'hypothétique « bug de l'an 2000 » alors que les problèmes de faim et de développement du Monde n'auraient mobilisé qu'une partie de cet argent. Ceci montre l'échelle des valeurs à la fin de ce siècle.

Historiquement, la commande d'État, en particulier la commande militaire étatsunienne, a été déterminante dans la création de l'industrie informatique. Dans certains cas, comme le système radar *Sage*, les connaissances acquises pour le compte de l'armée pouvaient être transférées au domaine civil. Dans de nombreux autres les produits civils étaient directement dérivés de produits militaires, ce qui fournissait un investissement en recherche et développement gratuit à toutes les sociétés qui travaillaient pour les USA. « La seule grande invention de l'informatique qui n'ait pas vu le jour dans un laboratoire sous contrat militaire (pendant la première informatique), le transistor, sera rapidement cédée par les laboratoires Bell à l'ensemble de l'industrie, dans le but explicite de ne pas freiner la diffusion de cette nouvelle technologie dans les applications militaires » [Breton, p. 180]. Durant la première génération informatique (années 1950) et le début de la seconde (années 1960) la commande d'État étatsunienne absorbe une part considérable de la production⁸. Ceci sera déterminant dans la prépondérance des États-unis : 90% de parts de marché à cette époque [Breton, p. 182].

Bibliographie

[Breton] Philippe Breton. *Histoire de l'informatique*. La Découverte. 1987.

[Singh] Simon Singh. *Histoire des codes secrets*. J.-C. Lattès. 1999. Pour des détails sur le *Colossus*, on pourra consulter l'article spécialisé de Brian Randell [<http://www.aconit.org/histoire/colloques/chi95/colossus.html>].

[Truong] Jean-Michel Truong. *Totalement inhumaine*. Les empêcheurs de penser en rond. 2001.

[Verroust] Gérard Verroust. *Histoire, épistémologie de l'informatique et Révolution technologique*. Université de Paris VIII. 2006 (c. 10/4/2008). en ligne : <http://hypermedia.univ-paris8.fr/Verroust/cours/TABLEFR.HTM>.

⁸En juillet 1964 les marchés d'État correspondent à plus du quart du parc informatique étatsunien. Fin 1966, ils représentent près du tiers de ce parc. Source : OCDE, cf. [Breton, p. 181].

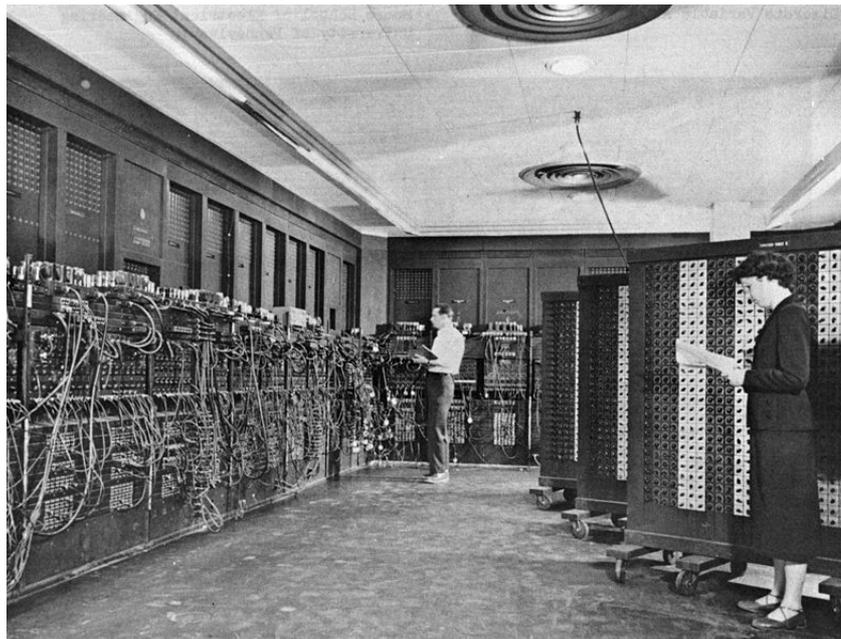
Chapitre 2. Les générations de l'ordinateur

L'histoire de l'objet industriel « ordinateur » est traditionnellement découpée en périodes, appelées « générations », qui recourent à la fois une base technologique, une approche des usages et une forme de diffusion commerciale. En caricaturant à l'extrême, la gestation de l'ordinateur va de 1936 (l'article de Turing) à 1945 (le rapport de von Neumann) ou 1948-49 pour les premiers ordinateurs à proprement parler. La première génération correspond aux premières mises en oeuvre de l'architecture de von Neumann à base de tubes à vide, jusqu'à la fin des années 1950. On parle généralement de deuxième génération pour désigner les ordinateurs utilisant des transistors (à partir de 1959) et de troisième génération pour ceux utilisant des circuits intégrés (1966). Elles correspondent à de très « gros » ordinateurs, chers et de diffusion limitée. La quatrième génération, à partir de 1971, correspond à l'emploi de micro-processeurs, qui permettront l'émergence des micro-ordinateurs. Cette technologie, avec des évolutions, court des années 1970 à la fin des années 1990 et définit ce que nous appellerons l'ère de la loi de Moore.

1. La naissance de l'ordinateur

Même si tous les éléments du puzzle étaient présents en 1945, il n'est pas encore possible, à cette date, de parler d'ordinateur. En effet, tous les calculateurs de l'époque sont fondamentalement conçus sur le même modèle que les premières machines à calculer, des bouliers très améliorés. Même l'ENIAC (1946), longtemps qualifié à tort de premier ordinateur¹, avec son électronique révolutionnaire capable de battre à 200 000 pulsations par seconde, nécessitait la saisie et de données et des étapes de calcul à effectuer. À cette époque on ne programmait pas, on configurait la machine en vue de tel ou tel calcul (p.ex. sur la photo suivante). L'électronique est bien un ingrédient de l'informatique moderne, le plus visible, mais certainement pas le plus déterminant. Pourtant à cette époque tous parlent de « cerveau géant » pour désigner ces immenses calculateurs (moins puissants toutefois que certaines puces contrôlant aujourd'hui notre électroménager)².

Figure 2.1. Configuration de l'ENIAC (US Army)



¹C'est toujours le cas sur Wikipedia (VF, c. 6/4/9).

²Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) formule la théorie neuronale dès la fin du 19^e siècle.

La période qui va de la fin des années 1930 aux années 1950, était un temps de bouillonnement intellectuel pour comprendre le comportement, la communication, l'information. C'est à cette époque que se développent / se répandent le behaviorisme, la cybernétique, et le structuralisme.

La convergence des deux ingrédients de l'ordinateur (conceptuel et technologique) se fait, semble-t-il, par le plus pur des hasards quand un responsable de la supervision militaire de l'ENIAC (nous sommes en août 1944, pendant la guerre) croise sur un quai de gare John von Neumann (1903-1957), probablement l'un des plus grands logiciens du 20^e siècle (et aussi l'un des plus grands mathématiciens, l'un des plus grands économistes et un très grand physicien) [Breton, pp. 75-77]. Il lui demandera son avis sur l'ENIAC (qui n'était pas encore opérationnel) et des propositions pour construire son successeur. À la suite de nombreux échanges, von Neumann publiera un pré-rapport qui définit l'architecture, dite « architecture de von Neumann », du successeur de l'ENIAC, l'EDVAC, et, de fait, de (quasi) tous les ordinateurs qui suivront, jusqu'au début du 21^e siècle : *First Draft of a Report on the EDVAC* (1945). La conception en est résolument nouvelle : le calculateur devient une machine arithmétique, logique et, plus généralement, de traitement de l'information, il est doté d'une vaste mémoire permettant de stocker et des données et des programmes enregistrés, qui ne sont désormais plus fondamentalement différents des autres données (idée issue des travaux sur les machines de Turing), et, surtout, il est piloté par une unité de commande interne (idée de von Neumann) [Breton, pp. 80-82]. L'ordinateur devient donc entièrement automatique, autonome même d'une certaine manière, première révolution.

Deuxième révolution, qui justifiera une terminologie nouvelle : il ne s'agit plus désormais de calculer, mais de traiter de l'information binaire. Précisément, les ordinateurs seront des machines universelles, au sens mathématique du terme, c'est à dire capables d'implémenter tout algorithme, en principe (c'est à dire à condition de disposer de ressources suffisantes). Le mot « informatique » sera créé en 1962 par Philippe Dreyfus pour désigner la nouvelle discipline, scientifique et technique : c'est, littéralement, l'automatique (-matique) de l'information (infor-). C'est l'occasion de préciser un peu ce dernier mot, « information ». Il signifia d'abord façonnage (mise en forme) puis instruction (instruire une personne ou instruire une affaire judiciaire) pour désigner finalement un simple événement rapporté (par un journaliste, par exemple). Le sens technique apparaît en 1927 (Ralph Hartley, 1888-1970) [Breton, p. 37]. Il sera précisé peu à peu et aboutira en 1948 à la *Théorie mathématique de l'information* de Claude Shannon (1916-2001), qui l'établira sur une base mathématique solide. Aujourd'hui ce sens précis et le sens courant continuent à coexister, ce qui ne clarifie pas toujours les débats... Quand on oppose l'information à la connaissance, de quel sens s'agit-il ?

En 1955, pour commercialiser son premier ordinateur de grande diffusion (les précédents étaient destinés à l'armée ou à la recherche) la société IBM France fait appel au philologue Jacques Perret (1906-1992) pour suggérer un nouveau mot, le mot « calculateur » ne répondant plus à la diversité des tâches désormais possibles. Il proposera de renouveler le terme « ordinateur », qui à l'origine désignait Dieu mettant de l'ordre dans l'Univers - pouvait-on alors viser plus bas que Dieu ? En anglais le passage de *calculator* à *computer* est beaucoup moins impliquant. Avec le mot « ordinateur », la machine passe au second plan derrière l'information et son traitement : l'ordinateur c'est le pouvoir qui vient avec le savoir. Souvenons-nous de la maxime d'Auguste Comte : « Savoir pour prévoir, afin de pouvoir », souvent résumée en : « savoir, c'est pouvoir. » Rappelons-nous que Turing comme von Neumann visaient un véritable cerveau artificiel, modèle réduit du cerveau humain. Cette image, malgré la banalisation des ordinateurs, est encore vivante aujourd'hui.

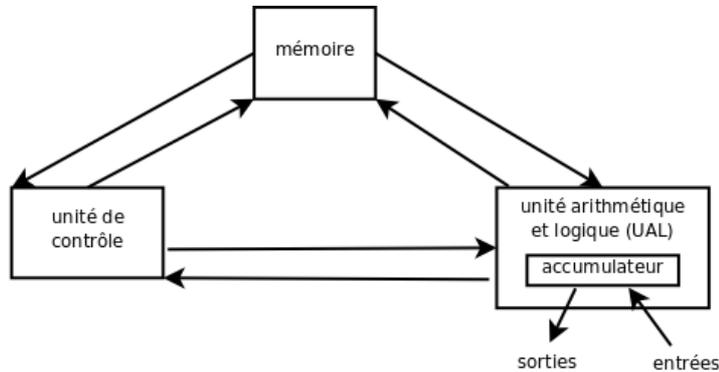
2. La première génération

La première génération d'ordinateurs va de la fin des années 1940 (1948-1949), avec les premières mises en oeuvre de l'architecture de von Neumann, jusqu'à la fin des années 1950, avec la fin de l'emploi des tubes à vide.

Au cours de l'histoire des TIC trois fées se passent le relais... souvent deux s'opposent à une troisième : la fée militaire, la fée scientifique et la fée marchande. Ici c'est les deux premières gagnèrent contre la troisième et assurèrent aux ordinateurs un bel avenir. La logique commerciale aurait voulu que l'invention des ordinateurs relève d'un brevet. Ils seraient alors probablement longtemps restés la propriété de quelques uns et n'auraient pas connu le foisonnement considérable qu'on a pu observer (certes largement dominé par IBM). À l'époque John Eckert et John Mauchly, les pères de l'ENIAC

et porteurs de son successeur, l'*EDVAC*, tentèrent effectivement d'imposer un brevet. Von Neuman, qui était un universitaire, adhérait lui à l'éthique scientifique de la libre circulation des idées. Il publia en urgence le fameux rapport sur la nouvelle architecture au titre d'un contrat militaire, donc gouvernemental, ce qui, aux USA, impose une publication dans le domaine public (pour tout ce qui n'est pas secret, bien sûr). Il donna également de nombreuses conférences sur le sujet, plantant ainsi généreusement la graine de l'ordinateur.

Figure 2.2. Architecture de von Neumann (schématique)



Cette concurrence entre la logique marchande des brevets et la logique publique de non-patrimonialité des idées³ ne sera tranchée par la justice (en faveur du domaine public) qu'en 1947. Entre temps l'*EDVAC*, qui fut le premier ordinateur conçu, prit un retard considérable - il ne sera opérationnel qu'en 1951 [Breton, pp. 87-89]. De fait, l'honneur d'être le premier ordinateur opérationnel lui fut ravi par le *Manchester MARK 1*, projet soutenu par la Royal Society. Le premier programme enregistré fut exécuté sur cet ordinateur le 21 juin 1948 [Breton, pp. 92-93]. Retenons toutefois que cet honneur n'est que commémoratif, en termes d'histoire des techniques cela n'a pas grand sens de couvrir de lauriers ce projet particulier : les tout premiers ordinateurs ont été développés en même temps sur une durée suffisamment longue pour qu'aucun ne puisse réellement prétendre être à l'origine des autres. On trouve d'ailleurs des palmarès différents selon les auteurs, en fonction de ce que chacun considère comme déterminant. Les tout premiers ordinateurs sont, par ordre alphabétique : le *BINAC* (suivi par l'*UNIVAC*, Eckert et Mauchly), l'*EDSAC* (Cambridge), l'*EDVAC*, la *machine IAS* (Princeton, von Neumann) et le *Manchester MARK 1* [Breton, pp. 87 sqq.]. Le seul acte de naissance incontestable que nous retiendons est le rapport de von Neumann.

La fée scientifique, en particulier von Neumann, assura une large diffusion à la nouvelle conception⁴. La fée militaire, elle assurait le financement d'une très grande part de l'investissement en recherche et développement nécessaire pour concevoir les nouvelles machines. IBM, notamment, s'engage dans l'aventure des ordinateurs *via* un contrat pour l'armée étatsunienne (pour produire l'IBM 701). Rappelons qu'IBM était au départ un fabricant de machines de bureau (comme son homologue français Bull).

3. Les deuxième et troisième générations

On parle généralement de deuxième génération pour désigner les ordinateurs utilisant des transistors (à partir de 1959) et de troisième génération pour ceux utilisant des circuits intégrés (1966). Certains définissent de même une quatrième génération pour désigner les ordinateurs à micro-processeurs (à partir de 1971).

Cette évolution technologique du matériel (*hardware*), très rapide, n'est pas qu'affaire d'informaticiens et d'industriels. Elle a eu, en réalité, une incidence considérable sur la société, chaque évolution technologique marquant l'extension de l'informatique à de nouveaux secteurs de la société.

³En réalité, si les idées développées sur fonds publics sont en pratique hors du champ patrimonial, la théorie est différente : les États-Uniens considère que ce qui a déjà été payé une fois par le contribuable au travers d'un contrat avec l'État n'a pas à être payé une seconde fois au titre de la rémunération d'un brevet.

⁴Il sera aussi très directement le père de l'ordinateur *IAS* de Princeton.

Les premières machines, gros calculateurs et premiers ordinateurs, étaient extrêmement coûteux à acquérir, encombrants et dispendieux à faire fonctionner. Mais surtout ils allaient bien au-delà des besoins civils de l'époque. Beaucoup, y compris certains pionniers, ne voyaient aucun avenir commercial à l'ordinateur : c'était d'abord une technologie de pointe destinée aux laboratoires de recherche et à l'armée. C'est la machine elle-même qui créera le besoin... avec l'aide du transistor. Les semi-conducteurs sont découverts et le transistor conçu en 1947 (prix Nobel de physique en 1956) au sein des laboratoires Bell. Il sera diffusé très largement dès 1948. Comparés aux tubes électroniques les dispositifs semi-conducteurs (principalement les diodes et transistors) sont simples, bon marché, peu encombrants, résistants/durables et consomment peu. Autre avantage : les semi-conducteurs peuvent remplacer assez aisément (une fois la technologie maîtrisée) la plupart des anciens dispositifs à tubes. Les coûts d'exploitation et d'acquisition chutaient considérablement. La voie était désormais ouverte à l'ordinateur pour conquérir une société déjà extrêmement bureaucratisée donc avide de statistiques, de bilans et de comptes. Qui plus est, le secteur tertiaire, très développé et en position de force, était très ouvert à l'innovation technologique.

Dans ce secteur tertiaire l'industrie des machines de bureau, IBM en tête, était déjà très présente. Précisément, cette industrie disposait déjà de circuits de promotion et de distribution. De plus elle bénéficiait d'une solide assise financière qui lui permettait de vendre à perte jusqu'à asphyxier de nouveaux entrants, y compris plus performant financièrement et/ou techniquement [Breton]. La clientèle était plus importante que l'avantage technologique. À l'époque de la fin des tubes à vide une industrie informatique s'est donc déjà établie, en dehors des laboratoires universitaires et militaires, d'emblée sous la large domination d'IBM [Randell, pp. 469-471]. Durant la seconde génération (jusqu'en 1966), IBM a pu assurer entre la moitié et les deux-tiers de la production mondiale d'ordinateurs⁵.

En 1958 est inventé le circuit intégré, qui peut regrouper plusieurs composants sur une même « puce » (*chip*) - aujourd'hui jusqu'au milliard. Il conduira aux mémoires intégrées (1970) puis aux microprocesseurs (1971). Le saut qualitatif est considérable et ouvrira la voie à une nouvelle ère (cf. *infra*). À côté des grands systèmes centralisés se développent les mini-ordinateurs (le PDP-8 est commercialisé en 1963) puis la micro-informatique personnelle à partir du milieu des années 1970⁶. IBM lance l'ordinateur personnel (le PC, 1981), avec une architecture standardisée garantissant une compatibilité ascendante (les « compatibles PC »). L'ordinateur est désormais accessible aux particuliers. Le nombre de machines explose, y compris après les chocs pétroliers. Avant de vendre des ordinateurs, IBM et les autres grandes compagnie vendent d'abord l'idée que l'information est stratégique. Cette idée, qui s'appuie notamment sur les écrits de Wiener et von Neumann est alors largement diffusée, tant dans l'*establishment* que dans la contre-culture (« savoir, c'est pouvoir »). Plus généralement, avec l'ordinateur on vend la modernité et un nouveau mode d'organisation de l'entreprise, de l'administration. L'information devient une nouvelle matière première, un nouveau carburant. Faisant le parallèle avec le charbon (la machine à vapeur) du 19e siècle, des idéologues technophiles prophétisent l'avènement d'une seconde révolution industrielle. En 1974 les États-unis adoptent une loi informatique et liberté et la France constitue la CNIL.

⁵Source OCDE, citée par [Breton], p. 183. Précisément, IBM représente 66% de la production mondiale en 1962, 50% en 1967. En 1967, IBM et les sept plus grands constructeurs étatsuniens (les « sept nains ») représentent ensemble plus de 91% de la production mondiale.

⁶En 1972, François Gernelle (1945-) conçoit le premier micro-ordinateur, le *Micral N*, autour du second microprocesseur d'Intel, le 8008. Celui-ci suscita de nombreux émules, principalement à destination des hobbyistes, dont beaucoup en kit. Parmi eux l'Apple I (1976), rapidement suivi de l'Apple II, qui s'imposa largement dans ce secteur des hobbyistes.

Tableau 2.1. Nombre d'ordinateurs en service^a

| | 1965 | 1970 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| États-Unis (moyens et gros) | 3 700 | 14 000 |
| Japon (moyens et gros) | 850 | 2 300 |
| Europe (moyens et gros) | 3 580 | 9 800 |
| États-Unis (petits) | 20 000 | 40 000 |
| Japon (petits) | 450 | 4 700 |
| Europe (petits) | 2 500 | 4 700 |
| total | env. 31 000 | env. 75 500 |

^aSource : OCDE, Écarts statistiques, Paris, 1969, cité par [Breton], p. 192.

4. L'ère de la “loi” de Moore

En 1958, Jack Kilby (1923-2005) et Robert Noyce (1927-1990) inventent indépendamment le circuit intégré, c'est à dire la possibilité de graver des circuits sur des galettes de silicium. En 1959 un brevet est déposé. Divers circuits seront conçus selon cette technologie, de plus en plus complexes, jusqu'à aboutir au premier microprocesseur, l'*Intel 4004*, en 1971.

En 1965, Gordon Moore (1929-), un des fondateurs d'Intel prédit un doublement de l'intégration chaque année⁷. Il révisera son optimisme en 1975 en prévoyant que le nombre de transistors des processeurs doublerait à coût constant tous les deux ans. Cette « loi de Moore » est assez bien vérifiée empiriquement. On l'exprime souvent sous la forme simplifiée d'un doublement de puissance brute des ordinateurs (mémoire, capacité des disques, puissance des processeurs) tous les 18 mois. Cette seconde forme n'a pas de définition technique précise, elle est donc invérifiable à proprement parler, mais donne un ordre de grandeur estimatif. Si l'on prend l'hypothèse d'un doublement tous les deux ans, on obtient grossièrement un facteur 10 pour 6 ans, 30 pour 10 ans et 200 pour 15 ans et 1 000 pour vingt ans. Il s'agit d'une progression exponentielle fulgurante, qui, bien sûr, ne peut durer éternellement. Sa fin était assez justement estimée pour le début des années 2000, pour des raisons physiques sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Ceci fixe les bornes (1971-2005) d'une deuxième ère de l'informatique, que nous appellerons « l'ère de la loi de Moore. »

Quel genre de loi est donc la « loi » de Moore ? Certainement pas une loi judiciaire. Ni une loi physique, puisqu'elle décrit, finalement, une vitesse de mise sur le marché de produits. On pourrait y voir une loi historique puisqu'elle décrit une série de faits historiques - loi relativement bien avérée d'ailleurs. Souvenons-nous alors qu'elle fut formulée *avant* ces faits ! La loi de Moore est donc d'abord et avant tout un plan de marche, un programme de recherche et développement, pour l'ensemble d'une industrie.

Quelles sont ses conséquences ? Tout d'abord, cette loi s'applique à un nouveau contexte technologique et commercial : le produit dominant de cette période est le micro-ordinateur. Celui-ci est de moins en moins encombrant et de plus en plus accessible financièrement pour les ménages. Il devient une composante de l'électro-ménager domestique. Comparons l'ordinateurs à d'autres biens d'équipement, lave-linge ou télévision. Dans une première phase les ménages les plus aisés s'équipent, les constructeurs s'efforcent donc de valoriser leurs marques : celui qui fait de meilleures machines peut espérer en vendre plus ou plus cher. Dans un second temps, quand les ménages sont largement équipés, il n'est plus possible de vendre autant de machines et il faut donc forcer le renouvellement du parc : soit en abaissant leur durabilité (lave-linge), soit en imposant des ruptures techniques (télévision). Revenons aux ordinateurs. Nombre d'unités centrales conçues aujourd'hui, avec une bonne maintenance, peuvent durer plus de dix ans. Contrairement aux machines à laver, les ordinateurs utilisent assez peu de pièces mobiles, il n'est donc pas aisé de diminuer artificiellement leur durée de vie physique. L'industrie s'appuya donc sur la loi de Moore. Puisque cette loi était connue des éditeurs, ceux-ci pouvaient développer des logiciels gourmands en puissance au moment de leur conception : la puissance des ordinateurs au moment de la diffusion devant (théoriquement) devenir

⁷C'est à dire, grossièrement, un doublement du nombre de transistors intégrables sur une même puce (sachant qu'il n'y a pas que des transistors sur ces puces).

suffisante⁸. Autrement dit, l'achat de nouveaux logiciels commande l'achat d'un nouveau matériel. Les constructeurs, de leur côté, font leur possible pour se tenir à la loi de Moore afin d'entretenir la boucle vertueuse (et introduisent suffisamment de nouveautés dans le *hardware*). Ainsi tout nouvel ordinateur appelle l'achat de nouveaux logiciels. La multiplication des périphériques, utilisant des protocoles (logiciel) et des connecteurs (matériel) nouveaux toutes les quelques années, complète la nasse. La clef de voûte est, comme toujours, idéologique : après trois ans un ordinateur n'est pas considéré comme « vieux » ou ayant moins de fonctionnalités, mais comme « obsolète. » Les mots sont importants. Avec le temps, bien entendu, les consommateurs se sont adaptés et s'efforcent toujours d'acheter simultanément l'ordinateur, les périphériques et les logiciels. La pression d'évolution reste toutefois importante grâce aux logiciels professionnels, aux anti-virus et aux logiciels d'*entertainment* (de jeu, principalement).

Ce plan de marche induit/traduit une logique qui commande la place des principaux acteurs durant cette période.

Le principal acteur de la période précédente, le constructeur d'ordinateurs, s'effacera progressivement pour céder la place, d'un côté aux constructeurs de composants, en particulier les « fondateurs » de processeurs, et de l'autre aux concepteurs de logiciels, en particulier les « éditeurs » d'applications. En schématisant et en nous limitant aux plus grands, « *Big blue* » IBM abandonne son leadership à Intel et à Microsoft (« *big green* »). Dans les années 1980, la production électronique passe des États-Unis à l'Asie, au Japon en particulier [Breton, pp. 193-204].

Dans le domaine du matériel, du fait de l'augmentation de la puissance des puces, les gros systèmes perdent la plupart de leurs applications : à partir de 1974, il devient moins coûteux d'utiliser de petites machines, éventuellement en grand nombre, plutôt que les super-ordinateurs de la période précédente. C'est l'inversion de la « loi » de Grosh [Breton, pp. 195-197]. Les mini- puis les micro-ordinateurs s'imposent et conquièrent toujours plus de segments de marché. Dans le même temps la recherche informatique se développe et s'installe dans le paysage scientifique.

Du côté des logiciels, pour assurer une certaine forme de rente, les éditeurs doivent courir l'innovation. Il ne s'agit pas seulement de rendre les logiciels plus performants, mais aussi de les rendre plus « conviviaux », d'augmenter le nombre des fonctionnalités (bien au-delà de l'usage de la plupart des utilisateurs), puis, dans les années 1990, de jouer sur des effets de mode, sur le *look* des logiciels (et pour Apple des matériels). C'est donc une période extrêmement propice à l'innovation logicielle. Les interfaces Homme-machine (IHM), en particulier, feront des progrès considérables durant cette période. La souris telle que nous la connaissons est développée au cours des années 1960⁹. Elle se répand à partir de 1981 grâce au système *Xerox Star* puis, surtout au *Macintosh* (1984). C'est également le Xerox Parc qui développera l'affichage graphique avec fenêtres (GUI), repris et développé ensuite par les principaux systèmes d'exploitation.

Durant toute cette période, la grande majorité des ordinateurs produits ont une architecture de type « compatible PC » (et sa descendance, définie principalement par Intel). Il y a, bien entendu, des alternatives, mais elles représentent des volumes de vente extrêmement faible en regard du courant principal. Ce courant bénéficie de quelques améliorations ponctuelles du *hardware*, mais il y a, au fond, assez peu de changements. Nous reviendrons ultérieurement sur la principale, le *multiprocessing*, qui se développera au cours des années 1990 et 2000. Il est nécessaire de d'abord évoquer le développement des réseaux. Mais tout d'abord évoquons rapidement l'évolution du logiciel durant cette période.

Bibliographie

[Breton] Philippe Breton. *Histoire de l'informatique*. La Découverte. 1987.

⁸En réalité Niklaus Wirth montre en 1995 que ce n'est pas le cas. C'est la fameuse loi de Wirth : « le logiciel ralentit plus vite que le matériel n'accélère. » L'anglais est plus savoureux : « *software gets slower faster than hardware gets faster.* » En langage plus courant : les éditeurs ont une tendance naturelle à transformer les logiciels en « obésiciels » (*bloatware*) sans que l'amélioration régulière des performances des ordinateurs puisse le compenser.

⁹Elle est brevetée en 1970, mais des dispositifs similaires ont existé antérieurement, depuis les années 1950 au moins.

[Negroponte] Nicholas Negroponte. *L'homme numérique*. R. Laffont. 1995. Les indications de page sont données à partir de la seconde édition anglaise de *Being digital*. ..

[Randell] Brian Randell et Maurice Daumas. *La filiation des machines à calculer contemporaines*. In M. Daumas, *Histoire générale des techniques*. , tome 5, partie 3, chap. 4, p. 434-473.. PUF. 1996.

Chapitre 3. L'évolution logicielle

Nous avons vu précédemment que pendant la période qui va grossièrement de la fin des années 1970 au début des années 2000, le produit dominant de l'informatique est le micro-ordinateur. Il équipe les ménages et les entreprises. Cette période voit un développement considérable de la production de logiciel (*software*). Ces derniers prennent progressivement le pas sur le matériel à la fois comme moteur de l'évolution technique et comme source principale de valeur ajoutée.

L'évolution du logiciel était peu significative dans les premières générations, celui-ci étant largement assimilé à de la documentation technique, fournie avec le matériel. Elle devient déterminante à partir des années 1970. Sa description nécessiterait à elle seule un cours au moins aussi détaillé que celui-ci. Nous nous limiterons, dans ce chapitre, à quelques éléments d'appréciation de son évolution.

Les applications de grande diffusion apparaissent relativement tard dans l'histoire de l'informatique. Le marché étant d'abord occupé par des programmes conçus à façon. Le premier tableur, *Visicalc*, est commercialisé en 1979. Aujourd'hui encore les applications destinées au grand public semblent peu nombreuses et dans la plupart des registres, un ou deux acteurs s'accaparent l'essentiel des parts de marché. Pourtant la variété des systèmes d'exploitation et des logiciels disponibles est immense. De plus chaque logiciel évolue dans le temps, parfois si fortement qu'il faut former à nouveau certains utilisateurs au passage de certaines versions. La variété est donc considérable.

1. L'évolution des systèmes

À l'époque des calculateurs électroniques et des premiers ordinateurs on ne peut pas réellement parler de programmation ; il serait plus exact de parler d'une configuration de la machine, comme pour les machines de Turing. Pour autant l'architecture de von Neumann amorce un processus durable : les programmes peuvent désormais être enregistrés en mémoire puis sur des mémoires de masse. Ils peuvent donc gagner en complexité, progressivement. Les premiers programmes sont des programmations de la machine : ils décrivent séquentiellement les opérations qu'elle doit effectuer. Il s'expriment d'abord en langage machine puis seront ensuite rendus plus lisibles à l'aide de langages de description de programmes en langage machine : les langages « assembleurs »¹. Dans les années 1950 et au début des années 1960 les ordinateurs étaient si chers qu'il fallait les faire travailler en permanence. C'est l'origine des dispositifs de partage de temps (*time sharing*, 1961) et des systèmes multitâches (1958) puis multiutilisateurs : le moment de réflexion d'un utilisateur peut être le temps de calcul d'un autre. Ces méthodes permettront la mise en place des premiers grands systèmes partagés de banque et de réservation aérienne [Negroponte, p. 95]. Avec l'augmentation en complexité des ordinateurs (années 1970-1980) et surtout l'apparition des périphériques, en particulier de stockage, il devient nécessaire de disposer de logiciels de plus en plus spécialisés : *firmware*, systèmes d'exploitation, applications. Le *firmware* s'occupe des fonctions matérielles les plus élémentaires et de l'amorçage du système (c'est le *BIOS* des *PC*). Le système d'exploitation gère les périphériques (au début guère plus que l'affichage en mode texte, le clavier et les disques) et l'exécution des applications². Les applications sont au service de l'utilisateur. Les fonctions se diviseront encore par la suite le système d'exploitation, en particulier, se décomposant en de nombreuses sous-unités oeuvrant de conserve : noyau, pilotes, HAL, gestionnaire de fenêtres et d'affichage, bibliothèques diverses, serveurs de données etc.

[Verroust] évoquant les années 1980 : « À cette époque les systèmes n'avaient ni la capacité ni la nécessité d'utiliser les systèmes d'exploitation pour mini et grands ordinateurs. Les premiers systèmes d'exploitation appelés moniteurs offraient seulement des fonctionnalités très basiques, et étaient chargés le plus souvent depuis de la mémoire morte. CP/M fut l'un des pionniers en matière de système d'exploitation installé sur un disque (et non sur mémoire morte). Ce système d'exploitation influença largement la conception de PC-DOS. Ce dernier, choisi par IBM comme système d'exploitation pour ses premiers PC, fit de Microsoft l'une des compagnies les plus rentables au monde. Les principales

¹Les programmes en assembleur, destinés aux humains, sont « compilés » en langage machine pour être ensuite exécutés. Chaque machine ou famille de machines, puis chaque processeur ou famille de processeurs, possède son propre langage assembleur, très proche en réalité du langage machine lui-même pour ce qui concerne sa sémantique.

²Cf. le cours de *Technologies informatiques et multimédias*.

alternatives durant les années 1980 sur le marché des systèmes d'exploitation furent Mac OS en 1984, AmigaOS et Atari en 1985 et OS/2 en 1987. » Les années 1990 voient l'extension de la norme Unix et de systèmes de conception proche : linux (1991), WinNT (1993), MacOS 9 (1999) puis MacOS X (2001). La décennie 2000 voit l'explosion des OS "embarqués" (dont les netbooks et autres iPod). De même que les mini-ordinateurs dépassèrent en nombre puis en usage les gros systèmes, puis que les micro-ordinateurs dépassèrent les mini-, aujourd'hui l'informatique "embarquée" (assistants, nanos, netbooks, électroménager...) est en train de dépasser la micro-informatique.

2. L'évolution des langages de programmation

Si les *firmwares* restent longtemps, et encore maintenant, programmés en assembleur, les systèmes d'exploitation et les applications réclamaient des méthodes plus élaborées de programmation.

Le premier vrai langage de programmation effectivement utilisé est le *FORTRAN* (FORMula TRANslation) mis au point de 1953 à 1957 [Breton, p. 166]. Il s'agit d'un langage impératif, c'est à dire d'une succession d'instructions. D'autres langages seront développés pour répondre à des besoins particulier. Le *FORTRAN* était destiné principalement au calcul scientifique (il est encore marginalement utilisé, malgré la faiblesse de sa syntaxe). Le *COBOL* (COMmon Business Oriented Language), créé en 1959, est encore utilisé en gestion. L'Intelligence artificielle, un secteur de la recherche informatique, utilisera abondamment le *LISP* (1958), langage de programmation fonctionnelle³, dans les années 1970-1980, puis le *PROLOG* (1972), langage de programmation logique⁴, pour la construction de systèmes experts. Pour les bases de données on conçut un langage de description, de manipulation et de contrôle, le *SQL* (1970).

À côté de ces langages spécialisés, les programmeurs et les théoriciens avaient besoin de langages généralistes. C'est à cette fin que fut créé *ALGOL* (1958), dont dérivait le *Pascal* (et ses nombreux dérivés : *Turbo Pascal*, *Delphi*...). Pour gagner encore en généralité et en commodité est créé en 1963 le langage de haut niveau *BASIC*, explicitement dédié aux débutants : *Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*. Lui aussi eut une riche descendance, dont le *Visual Basic*, le *VBscript* et *VB.Net* de Microsoft.

Enfin, avec la montée en complexité des programmes, il devenait de plus en plus pénible de traiter et de nommer différemment des procédures similaires du seul fait qu'elles s'appliquaient à des objets différents. On inventa donc, à partir de la recherche en Intelligence artificielle, des langages capables de définir des procédures ou des classes d'objets de façon abstraite, c'était la programmation orientée objet⁵. Aujourd'hui les principaux grands langages de programmation généralistes ont évolué et permettent une programmation objet.

Parmi tous ces langages une famille occupe une place à part par l'influence qu'elle aura sur Internet, les logiciels libres, puis le *web*. Le *C* est créé au début des années 1970 de conserve avec le système d'exploitation *Unix* par Dennis Ritchie et Ken Thompson au sein des laboratoires Bell. *Unix* (1969) était une forme de réaction aux systèmes d'exploitation extrêmement complexes et lourds de l'époque et en particulier *Multics*. Il était conçu pour fonctionner sur les petits systèmes (mini-ordinateurs) qui commençaient à se répandre à l'époque. Le *C* visait un objectif nouveau à l'époque de portabilité. Il deviendra *C++* (1985) en acquérant la programmation objet. Du *C++* dérivera une version épurée, *Java* (1995), pour porter encore plus loin la portabilité et permettre une utilisation comme langage interprété. De *Java* découlera une simplification, *Javascript* (1995). Enfin *PHP* est extrêmement proche, dans son esprit et sa syntaxe, de cette famille de langages. Aujourd'hui, pour la programmation *web* côté serveur, *Java* domine largement les grosses applications et *PHP* les petites.

³La programmation fonctionnelle, sans écarter complètement la programmation impérative, est construite sur le principe de la définition et de l'application de fonctions. Mathématiquement, elle met en oeuvre le lambda-calcul défini par Church en 1935.

⁴Les programmes sont des ensembles de règles de déductions.

⁵Le premier langage orienté objet est le *Simula* (1960). Celui qui diffusa largement l'idée est *Smalltalk* (1980), beaucoup utilisé en Intelligence artificielle. Celui-ci eut une influence considérable.

Pour la programmation *web* côté client *Javascript* est le standard de fait. Dans l'absolu *Java* occupe la première place des langages, *C* la seconde et *C++* la troisième⁶.

Parmi les éléments les plus déterminants de la révolution industrielle (milieu 18e siècle-milieu 20e siècle) figure probablement les principes de division du travail, non seulement au sens social (répartition entre catégories, classes ou castes) ou au sens économique (qui culmine avec le taylorisme), mais également au sens technique avec la normalisation des pièces détachées. Il en va de même en informatique : une part toujours plus grande du travail des différents logiciels consiste en tâches qui ne lui sont pas spécifiques et qui peuvent donc être standardisées et rédigées une fois pour toute. À l'époque de *FORTRAN* cette idée est encore extrêmement rudimentaire : le langage permet simplement de définir des sous-programmes. Peu à peu cette notion se formalisera et les "bouts" de programmes, que l'on appelle « procédures » ou « fonctions », se regrouperont (à partir de la fin des années 1950) en ensembles appelés « bibliothèques. » Ces bibliothèques sont intimement liées, dans un premier temps, à un langage et à un système d'exploitation. Par exemple les opérations de manipulation de fichiers ou de communications entre processus, sont très génériques et n'ont pas à relever de chaque application en propre : il est beaucoup plus efficace de disposer de procédures standardisées regroupées en bibliothèques standards. Plus généralement, l'utilisation de telles bibliothèques permet de mettre en oeuvre les principes informatiques (théorisés) de modularité (*separation of concerns*) et d'encapsulation (*information hiding*)⁷. Ces principes seront considérablement développés et rendus rigoureux par la programmation orientée objet. Aujourd'hui on appelle « *framework* » un ensemble cohérent de bibliothèques (voire une seule, dans certains discours commerciaux).

3. Les applications et les formats de données

Nous n'évoquerons ici cette question qu'en passant. Elle demanderait, elle aussi, un traitement très important.

Nous mentionnerons simplement que jusqu'à aujourd'hui la plupart des applications enregistrent leurs données dans des formats qui leur sont spécifiques. Pour être précis, les formats varient également, pour un même logiciel, d'une génération à la suivante. Avec l'extension du nombre d'utilisateurs et l'amélioration de leurs compétences avec le temps, apparaissent toujours plus deux problèmes : 1) le « pourrissement des bits » qui fait que de vieilles données ne sont en pratique plus lisibles ou plus utilisables - ce qui devient très problématique pour les centres d'archives -, 2) l'impossibilité de transmettre des données d'un utilisateur à un autre - ce qui devient de plus en plus gênant avec le développement des communications numérisées, les consolidations et les croisements de données.

Ces difficultés ont été particulièrement mises en lumière à l'occasion des grandes manoeuvres contre le « bug de l'an 2000. » Elles ont conduit un certain nombre d'États et d'entreprises, au cours des années 2000, à mettre en oeuvre des plans d'interopérabilité et de conservation de données.

⁶Source : le Tiobe Programming community index [<http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>] (index de popularité, pas de nombre de lignes de code produites) : Java 19%, C 15%, C++ 11%, PHP 10%, C# 4%, Javascript 4%. En groupant les différentes versions du C (C, C++, C#) : 30%. En tout : 63%, près de deux tiers.

⁷En réalité la définition de la *separation of concerns* va souvent plus loin que la modularité et inclut tous les procédés permettant de séparer une tâche en sous-tâches indépendantes que l'on peut traiter chacune de façon plus efficace, voire normaliser. C'est la transposition dans le domaine informatique de la division du travail. De même l'*information hiding* est le principe général qui consiste à cacher toutes les décisions de conception d'une procédure susceptibles de changer à l'avenir. Son aspect principal est l'encapsulation, le fait de cacher tous les mécanismes internes et structures de données d'une procédure, mais le terme *information hiding* peut également recouvrir d'autres aspects dont le polymorphisme (un même nom correspond à des procédures différentes, selon le type d'objets auxquels on l'applique).

Chapitre 4. L'évolution des usages

Si l'on reprend les soixantes ans de l'histoire de l'informatique, nous pouvons distinguer quatre périodes. Avant les années 1940, la notion d'information n'est pas encore définie. Chaque type de bien culturel/informationnel est défini spécifiquement, généralement par son support. Avec les premières générations d'ordinateurs, des années 1950 aux années 1970, apparaissent de nouvelles machines capables de traiter toujours plus d'information, toujours plus vite, pour un encombrement et un prix toujours plus faible. À cette époque l'entreprise dominante est IBM, « big blue .» Vient ensuite l'ère de la loi de Moore, de la fin des années 1970 au début des années 2000, qui voit une forme de compétition/émulation entre le hardware et le software. Les périphériques se multiplient. La puissance des processeurs est multipliée par plus de mille. Les logiciels dominent désormais. Cette période fait la fortune de Microsoft, « big green. » Aujourd'hui les possibilités matérielles plafonnent, la plupart des usages bénéficient d'une bonne offre logicielle, le développement de l'informatique doit donc une troisième fois changer de nature. Nous sommes désormais dans l'ère des usages : la richesse réside dans les contenus, dans leur organisation, dans leur communication. Cette période voit l'avènement d'Internet et du *web*. L'entreprise dominante est maintenant Google, « big white. »

1. Internet, un réseau « galactique »

1.1. La légende du réseau

On confond souvent *Internet* avec le *web*, employant un mot pour l'autre. Il s'agit, en fait, de deux choses tout à fait différentes. *Internet* est un réseau de télécommunication informatique, une infrastructure donc. Par lui transitent le courrier électronique, les messageries instantanées, les jeux en ligne et de nombreux services de transfert de fichiers et de publication de documents. Le *web* n'est "que" l'un de ces services (aujourd'hui c'est le médium de la plupart des systèmes d'information en ligne).

Par l'importance qu'il a pris dans notre vie, Internet devait relever du mythe. Selon la légende qui entoure sa naissance, Internet serait étatsunien, militaire et indestructible. Comme dans tout mythe, il y a un peu de vrai et beaucoup de faux. Nous verrons cela en détail dans cette section, mais résumons cela en quelques mots.

Internet est-il étatsunien ? D'un point de vue historique, il est vrai que les prémices de ce qui sera Internet apparaissent aux États-unis ; pour autant le travail de pionnier sur les réseaux à commutation de paquets n'est pas l'exclusivité de ce pays. On ne retient souvent qu'ARPANet comme ancêtre d'*Internet* ; en réalité de nombreux autres projets indépendants contribuèrent à l'évolution vers Internet. L'histoire est souvent écrite par les vainqueurs... n'oublions pas les autres acteurs. D'un point de vue technique, Internet est une coalition de nombreux réseaux indépendants relevant de grands opérateurs. Il n'appartient donc à aucun pays en particulier. Pour autant, un certain nombre d'organismes responsables de sa mise en oeuvre ont leur siège aux États-unis ou dépendent plus ou moins directement d'institutions de ce pays.

Internet est-il d'origine militaire ? L'ordinateur était sans conteste un fruit de la Seconde Guerre mondiale. Sans les occasions données par la guerre (et directement par l'armée) à des Hommes remarquables, l'ordinateur aurait peut-être encore dû attendre 20 à 30 ans. On lit souvent qu'Internet est né comme réseau de défense américain. En réalité, contrairement à cette « légende tenace et sulfureuse » [Huitema, p. 51], Internet n'a pas été conçu comme réseau de communication militaire ni comme réseau de commande d'engins ou autre application offensive ou défensive. Il naît, certes, de recherches commanditées par la DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, Agence des Projets de Recherche Avancés du ministère (américain) de la défense). La DARPA, alors ARPA, a été constituée en 1958 comme une réponse au lancement de Spoutnik, en plein contexte de guerre froide [NASA] : il s'agissait de soutenir des projets technologiques de pointe pouvant induire des développements militaires ou ayant, de manière générale, une portée stratégique. Il ne s'agit toutefois pas directement de recherche militaire. De plus *ARPANet* est un parmi de nombreux autres projets financés par la recherche publique ou privée aux États-unis et dans d'autres pays.

Internet est-il indestructible ? Cette idée est un des nombreux avatars du « dieu des victoires. » La légende est la suivante : si une bombe atomique touchait un noeud du réseau, les données perdues dans l'explosion seraient retransmises et les suivantes transmises par d'autres voies. Il est possible qu'effectivement les concepteurs d'*ARPANet* aient eu cela à l'esprit - n'oublions pas le contexte de la Guerre froide - et il est vrai que la commutation de paquets permet de contourner la défaillance de certains noeuds, pour une raison ou une autre (cf. le cours sur les réseaux). Il reste, toutefois, que cette image très romantique est loin de la réalité d'Internet. Dans la réalité le risque principal n'est pas celui d'une bombe atomique - les risques sont plutôt légaux et commerciaux. De ce point de vue, il faut reconnaître que la conception très décentralisée d'Internet le rend effectivement très difficile à contrôler.

Les réseaux et les liens entre ressources sont anticipés dès 1945 par Vannevar Bush dans un article sur un hypothétique *memory expander*, « Memex ». La première vision d'un réseau de télécommunication, c'est à dire d'interactions sociales, est une série de notes par J.C.R. Licklider dès 1962 sur un « réseau galactique » [ISOC]. Il anticipe déjà des bibliothèques du futur diffusant le savoir à l'aide d'ordinateurs en réseau.

L'histoire commence par l'invention de la commutation de paquets qui mènera à de nombreux réseaux. Elle se poursuit par l'intégration de ces réseaux en un unique réseau mondial, Internet. Les services pourront ensuite se développer de façon fulgurante.

1.2. Routage et interconnexion

Le principe technique du protocole Internet (IP : *Internet protocol*) est de router les paquets (cf. le cours sur les réseaux). Cette approche des communications informatiques, la commutation de paquets, est élaborée et défendue en 1961 par Leonard Kleinrock (1934-) [ISOC, s. 2]. Il publie le premier livre sur la question en 1964. À partir de là l'idée se répand largement et donnera lieu à de nombreuses recherches puis mises en œuvre, pendant environ deux décennies. Parmi celles-ci citons la première expérience, conduite en 1965 [ISOC], *ARPANet*, l'ancêtre officiel d'Internet, *Cyclades*, en France¹, *Usenet*, basé sur le protocole UUCP intégré à Unix, et *Bitnet*, qui reliait les gros serveurs académiques au niveau mondial [ISOC]. À la même époque le Xerox PARC développe *Ethernet* [ISOC, s. 3].

En 1957 Spoutnik est le premier satellite artificiel de la Terre. En 1958, les États-Unis constituent l'ARPA pour rattrapper leur retard technologique apparent et prendre une avance décisive, enracinant définitivement l'idéologie du « dieu des victoires. » En 1962 Licklider, le père du « réseau galactique » est le premier directeur du département informatique de l'ARPA [ISOC]. Il sait convaincre son successeur et Larry Roberts (1937-) qui, en 1966, prend la tête de l'équipe qui conçoit *ARPANet* (publié en 1967), au départ conçu comme un système de messagerie résistant aux défaillances. En septembre 1969 est établi le premier lien. Fin 1969, *ARPANet* relie quatre ordinateurs : à l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA), à BBN (société qui travaille sur les protocoles), à l'Université de Californie à Santa Barbara et à l'Université de l'Utah [ISOC]. *ARPANet* est destiné à relier des centres de recherche scientifique. Il s'agit donc d'abord d'un outil de recherche scientifique (et technologique), ce qu'il restera encore de façon dominante pendant un quart de siècle.

Comme d'autres réseaux similaires se développaient au cours des années 1970, il devint nécessaire de penser leur interconnexion.

La quasi-totalité des réseaux qui se développent durant les années 1970 et 1980, y compris *ARPANet* (mais à l'exception de *Bitnet* et *Usenet*), sont développés par et pour certaines communautés scientifiques. Il n'y avait donc guère de raisons qu'ils fussent compatibles. Ils ne le furent donc pas, même au sein d'un même pays. Par ailleurs, plusieurs éditeurs de logiciels développaient leurs propres protocoles spécifiques [ISOC]. Toutefois, la recherche scientifique est mondiale et, comme pour le courrier papier, la messagerie électronique ne prend tout son sens qu'en étant globalement interconnectée. En effet, l'intérêt d'un réseau humain pour un individu est proportionnel au nombre d'autres individus qui en font déjà partie. C'est ce que Christian Huitema (un des pères de l'Internet français) appelle poétiquement l'*effet de famille* [Huitema, pp. 34 sq.]. Bien sûr s'ajoute l'intérêt

¹Cyclades en France et de plusieurs autres réseaux similaires en Europe [Huitema, p. 2]. Ne voir l'histoire qu'à travers ARPANet est une erreur américano-centrée.

strictement économique de l'effet d'échelle (très important dans ce cas, les coûts fixes étant très élevés). Ces deux effets combinés font que « connectivity is its own reward » (la connectivité se récompense elle-même) [Huitema, citant A. Rutkowski].

Dès 1973, Vint (Vinton) Cerf (1943-) et Bob (Robert) Kahn (1938-) proposent d'interconnecter ces différents types de réseaux en imposant un protocole, un langage, commun. Ce protocole devra respecter les prérequis suivants, définis par Kahn [ISOC] :

- Chaque réseau est autonome et ne doit pas demander de changement pour pouvoir se connecter à Internet.
- Les communications respectent un principe de meilleur effort (*best effort*) : si un paquet n'atteint pas sa destination, il doit être rapidement réémis.
- Les réseaux sont connectés par des boîtes noires (que l'on appellera plus tard passerelles ou routeurs) simples, qui ne conservent aucune mémoire des paquets en transit.
- Il n'y a pas de contrôle global du niveau opérationnel (il est décentralisé).

Le protocole pourra donc être compris directement par certains nœuds mais sera d'abord destiné aux passerelles entre réseaux. Ainsi *Internet* (*inter-net* = inter-réseau ou réseau international, en anglais), est d'abord un réseau de réseaux. On parle aussi de coalition de réseaux ou (de réseau) d'interconnexion de réseaux, ou encore de fédération de réseaux. Les premières versions d'IP, le protocole Internet, sont publiées en 1978 et les premières mises en place datent de 1981 [Huitema]. Aujourd'hui les différents réseaux hétéroclites sont devenus extrêmement homogènes et utilisent le plus souvent les mêmes protocoles sur toute la planète. Les différents réseaux qui composent aujourd'hui Internet sont donc plus des divisions institutionnelles et commerciales que techniques.

Le passage d'*ARPANet* sur TCP/IP en 1983 permet de le séparer en un réseau destiné aux activités de défense, *MILNET*, et en un réseau qui deviendra/s'intégrera à *Internet*.

1.3. L'extension du Réseau

Quand les premiers réseaux sont conçus, dans les années 1960 et le début des années 1970, le monde informatique est encore dominé par les *mainframes*, les gros serveurs de centre de calcul. Personne n'imagine encore la future omniprésence des réseaux locaux et des micro-ordinateurs. On imagine surtout des réseaux nationaux reliant quelques machines seulement, tels qu'*ARPANet*. Pour cette raison, les premières adresses IP allouent-elles 8 bit sur 32 pour désigner le réseau et 24 bit pour désigner une machine dans chaque réseau. Autrement dit, ces adresses ne prévoyaient que l'existence de 256 réseaux, au maximum. La donne changea résolument à la fin des années 1970 avec la multiplication des réseaux locaux. [ISOC]

Actuellement, l'IP en vigueur est (encore) l'IP version 4, ou IPv4. Ses adresses ne font toujours que 32 bit, mais, pour tenir compte de la prolifération des réseaux locaux, ses adresses sont réorganisées en classes à partir de 1981 :

Tableau 4.1. classes d'adresses Internet, version 4, 1981

| classe | type d'adresses | nombre maximum d'adresses |
|----------|-----------------------------------|---------------------------|
| classe A | aaa . * . * . * (1 nombre) | de l'ordre de 16 millions |
| classe B | aaa . bbb . * . * (2 nombres) | de l'ordre de 65 mille |
| classe C | aaa . bbb . ccc . * (3 nombres) | environ 250 |
| classe D | aaa . bbb . ccc . ddd (4 nombres) | une seule adresse |

Quoi qu'il en soit 32 bit ne peuvent coder, au maximum, que quatre milliards d'adresses. Or le nombre d'ordinateurs personnels et de stations de travail explosent dans les années 1980 et l'Internet s'ouvre au grand public en 1989. Le système des classes étant saturé, il faut adopter, en 1993, une méthode de subdivision des classes et une nouvelle méthode de routage appelée CIDR (Classless Inter-Domain

Routing, routage inter-domaine sans classes, cf. le cours sur les réseaux). Là encore la solution ne peut durer qu'un temps. Malgré le développement de techniques permettant de ralentir la raréfaction, on imagine bien qu'une humanité de plus de sept milliards de personnes, dont beaucoup ont plusieurs machines connectées en permanence, demande de nouvelles solutions. La migration doit donc se faire vers IPv6 (déclaré standard en 1998), qui offre bien plus d'adresses, théoriquement jusqu'à $3,4 \cdot 10^{38}$. Aujourd'hui (2009) les pays riches, qui ne manquent pas encore d'adresses, ne sont guère pressés de basculer d'IPv4 à IPv6.

Le monde qui a donné naissance à Internet n'est plus du tout celui qui, aujourd'hui, se transforme profondément sous l'effet des usages d'Internet. Le super-réseau était initialement destiné à une poignée d'utilisateurs, produit de la recherche scientifique pour la recherche scientifique. Il est désormais le véhicule de la plus grande part des communications entre les personnes, aussi bien physique que morale. Il en vient même à inclure, intégrer ou remplacer les communications épistolaires et téléphoniques.

2. Convergence et révolution des TIC

Cette section n'est pas encore rédigée.

Les toutes premières utilisations du réseau sont le courrier électronique, ou *e-mail*, et l'échange de documents. De très nombreux protocoles ont été définis pour cela. Aujourd'hui les nombreux systèmes de messagerie ont évolué et se sont fondus dans un service standard unique. Le transfert de document à long terme relevé du protocole FTP (*File Transfer Protocol*, protocole de transfert de fichiers), première version publiée en 1970.

Deux ambitions : la communication, la documentation.

2.1. La convergence des contenus : le multimédia

Une première forme de convergence concerne la convergence des contenus eux-mêmes dans des objets documentaires uniques. Avant la numérisation, grande dispersion de biens culturels de toute nature, qui se reflète dans un droit d'auteur extrêmement disparate.

Premières formes de diffusions numériques : bulletin board systems, à la fin des années 1970 et durant les années 1980 aux USA (notamment). En France, minitel dans les années 1980.

Premier système d'information distribué, à l'échelle d'Internet : les serveurs FTP "anonymes" (ne demandant pas d'identification des utilisateurs), plus les miroirs répliquant les principaux contenus au plus près des utilisateurs (pour limiter la charge du réseau et des serveurs populaires), plus le moteur de recherche « Archie. » Suivra le système Gopher et son annuaire Veronica, puis le web et ses annuaires et moteurs de recherche. Le système des URL est publié en 1994 [RFC1738].

À l'origine de ces systèmes unifiés de diffusion, qui ne font pas de différence entre types de documents, le principe « un bit est un bit » [Negroponte], fondement de l'architecture de von Neumann : tous les documents reposent sur le même principe de codage numérique de l'information sous forme de fichiers qui peuvent être stockés par les mêmes types de mémoires (de masse ou centrales). Du fait de ce seul principe, l'émergence du multimédia, c'est à dire de la coexistence de plusieurs types de codage de l'information à l'intérieur d'un même document, était d'emblée inévitable, même s'il fallut le temps d'une génération humaine pour qu'il émerge.

Diversité des supports pour une même information. Reproductibilité sans perte à l'infini. Conflits avec le droit d'auteur qui raisonne différemment pour chaque usage et chaque support.

2.2. La convergence des supports

Sept. 1940 : À l'occasion du congrès annuel de l'AMS la société Bell avait relié des télétypes au calculateur Model 1 (Manhattan) par lignes téléphoniques. La réponse en moins d'une minute fit forte impression.

Évolution naturelle : communication > diffusion > travail. En termes d'informations : signal, puis texte, puis son, puis image. Vrai pour la route : la systématisation des relais de postes ouvre la possibilité des journaux. Vrai pour la radio. 1re moitié 20e s.: développement de la radio-télégraphie² puis de la radio-téléphonie (à partir de l'époque de la 1re Guerre mondiale), puis de la radio-diffusion (à partir des années 1920 (USA : 1920, France : 1921), dont la TV à partir des années 1930). Et maintenant vrai d'Internet. Dans la 2e moitié du 20e s.: développement de l'ordinateurs (à partir des années 1940), puis de la correspondance électronique (à partir des années 1960, dont Internet) puis de la réelle communication numérique (à partir des années 1980, dont le web) puis des outils de travail : ENT, bureaux virtuels, etc. Mouvement très systématique et tout à fait inévitable.

Paradigme commun du codage de l'information. La communication par e-mail. Les messageries instantanées. Le téléphone sur IP. Le basculement des grands réseaux de télécommunication. Les offres commerciales en triplette : Internet, TV (sur IP), téléphone (sur IP). L'IP sur les réseaux de téléphone cellulaire de 3e génération.

Symptomatique : on ne dit plus "télé-communication"... nouvelle conception de l'espace et du temps.

[Negroponte, p. 95] : « Computer interface design started in March 1960, when J.C.R. Licklider published his paper "Man-Computer Symbiosis." Lick (as he was called) was an experimental psychologist and acoustician by training who became a convert to and a messiah for computing, leading ARPA's initial computer efforts. He was asked in the mid-1960s to write an appendix for the Carnegie Commission report on the future of television. It was in that appendix that Lick coined the term narrowcasting. » Les deux seront amenés à converger dans les années 1990.

Communautés "virtuelles" : 58 000 collés au plafond, 150 000 gobeurs de flamby, 500 000 scanners de chats [Desfarges]. Bouleversement des liens sociaux.

Negroponte switch

2.3. La convergence terminal-réseau

[Negroponte, pp. 157 sqq.] L'idée d'un grande machine orwellienne centralisée et omnisciente est commune mais peu probable. Plutôt ensemble d'agents coopérant les uns avec les autres. « This image is fashioned after Minsky's *The Society of Mind* (1987), in which he proposes that intelligence is not found in some central processor but in the collective behavior of large group of more special-purpose, highly interconnected machines. »

Les premiers logiciels non localisés, vers, virus... Le film *Matrix*.

Un fait qui n'est pas prêt de changer : la lumière met environ 1 milliardième de seconde pour faire 30 cm. En diminuant la taille on peut espérer des gains, mais pas indéfiniment. RISC : première mise en oeuvre dès 1965, mais se répand à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Permet de mettre plusieurs files de traitement en parallèle à l'intérieur d'un micro-processeur. Grand public : Pentium (alias 80586 ou i586) = deux files de 80486 (ou i486). Puis ordinateurs multicoeurs : plusieurs micro-processeurs sur la même puce.

Mais aussi : l'ordinateur comme réseau : agents logiciels, multiprocesseurs (CPU+graphique), ordinateurs virtuels, baies de stockage autonomes, serveurs-lames (*blade servers*). De là évolution également vers le « cloud computing » (débuté avec les années 2000) : SETI@home, logiciels en ligne, fermes de calcul (film *Titanic*)...

[Negroponte, p. 229 : La Thinking Machine Corporation, qui fabriquait des ordinateurs massivement parallèles (les « connection machines ») a disparu au bout de 10 ans [fondée en 1982, faillite en 1994]. Elle disparut principalement parce que le parallélisme pouvait être décentralisé, mis en oeuvre par des séries d'ordinateurs personnels produits en masse.

²1888 : expérience de Hertz, puis très vite développement de la recherche hors des laboratoires scientifiques ; TSF, dès la toute fin du 19e s., en particulier pour les navires (pour lesquels la technologie filaire ne s'applique pas, rappelons-le) ; dès les années 1910 réseau de communication très étendu, à la surface du globe ; quasi-totalité des stations : armée, marine ou postes

À l'extrême, pour les tâches qui peuvent passer en cloud computing : « L'ordinateur tel qu'il se présente aujourd'hui, avec ses capacités de stockage en augmentation permanente, sa puissance surdéveloppée, sa pléiade de logiciels, serait tout simplement obsolète. Il suffirait en quelque sorte de posséder un ordinateur léger (tel que les Netbooks ou les EEEPC, par exemple) et d'une connexion très rapide pour accéder à l'ensemble des outils informatiques. Plus de logiciels, plus d'installations rébarbatives, plus de gestions complexes de disques... c'est en quelque sorte le « tout en ligne ». » Emblématique : la vogue des netbooks de la fin des années 2000. « selon l'institut GfK, 500 000 Netbooks auraient été achetés en France en 2008, soit 1 ordinateur par minute »

web services

2.4. La révolution “virtuelle”

Wiener (1950) avait déjà l'intuition que la civilisation se réorganiserait autour de l'information, d'où l'importance centrale de la communication. Société entièrement contenue dans les messages qui circulent en son sein. Il défend une société de réseaux, d'information ouverte (loin du secret militaire et de la marchandisation). Sa vision annonçait déjà la société de l'information, avec ses avantages et ses dangers.

L'ordinateur amorce un changement de l'organisation économique qui tourne résolument la page du taylorisme de la Révolution industrielle. [Verroust] : On parle de « Révolution nootique », « Révolution de l'intelligence » de « Révolution Scientifique et Technique », de « Société Post-Industrielle », etc. Et en même temps une crise économique mondiale multiplie les chômeurs, creuse les inégalités entre les nations et dans les nations. Fin du taylorisme (parcelisation et monotonie des tâches) dans l'organisation de la production (conscience au début des années 1970). Société où l'on fait faire par la machine, plutôt que l'on fait avec la machine. La part de la recherche & développement, de la conception plus généralement augmente dans la valeur ajoutée. Il découle évidemment de ceci des bouleversements dans : - la division traditionnelle du travail, - le découpage des responsabilités, - la répartition des qualifications, - la formation initiale et permanente des travailleurs. En outre, des gains considérables de productivité sont à attendre. Le découpage se fait en fonction de responsabilités plus que des tâches. Émergence d'une nouvelle alphabétisation. L'enseignement devient une activité permanente. Des professions intellectuelles spécialisées apparaissent.

Changement de civilisation. Bien illustré par la réaction au « bug de l'an 2000 ».

[Negroponte, p. 229] : « But being digital, nevertheless, does give much cause for optimism. Like a force of nature, the digital age cannot be denied or stopped. It has four very powerful qualities that will result in its ultimate triumph: decentralizing, globalizing, harmonizing, and empowering. »

L'effet fouille de données.

3. Le futur a commencé

Cette section n'est pas encore rédigée.

L'intelligence artificielle.

Pièce de Karel Capek dès 1921... donc bien avant les idées qui les mettront en oeuvre. Série des robots, nouvelles et romans, de Isaac Asimov, qui invente le mot « robotique » (1941) et ses fameuses trois lois (quatre à la fin de son oeuvre). Thème constant de la littérature et du cinéma... depuis bien avant l'informatique. Souvent héros négatifs à la *Terminator* (James Cameron, 1984), parfois positifs à la *D.A.R.Y.L.* (1985), exceptionnellement humains comme dans *Blade runner* (Ridley Scott, 1982) ou *I, Robot* (2004, inspiré d'I. Asimov).

Turing est le premier à évoquer sérieusement l'intelligence de machines (1950, « Computing machinery and intelligence »). Test de Turing : « jeu de l'imitation ». Dès Wiener, l'information est le centre, indépendamment de son support. On retrouve également cette idée dans le béhaviorisme puis, surtout, dans les théories connexionnistes, qui fonderont les sciences cognitives. Idée que l'on pourrait

même, à terme, copier les états de cerveaux biologiques sur des substrats artificiels (explicitement chez Wiener).

La machine a dévalorisé l'Homme travailleur de force. L'intelligence artificielle remplacera-t-elle l'Homme pensant ? Déjà chez Wiener sentiment que l'Homme pourra être dépassé par ses créations.

Information, communication, contrôle > 1948 Norbert Wiener (1894-1964) *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Premiers animaux robots (animats) conçus dans les années 1950 sur le principe cybernétique de la rétroaction (le *feed-back*). Ensuite autre courant en rupture totale : IA "traditionnelle". 1968 : 2001 l'odyssée de l'espace. 1971 : Création de LCF le premier système de démonstration automatique de théorèmes par Robin Milner. Échec (relatif) de l'IA "traditionnelle". La vie artificielle. Années 1990 : agents intelligents.

Bibliographie

[Breton] Philippe Breton. *Histoire de l'informatique*. La Découverte. 1987.

[NASA] Steve Garber. *Sputnik and The Dawn of the Space Age*. NASA. 21 fév. 2003. en ligne : <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/sputnik/>.

[Huitema] Christian Huitema. *Et Dieu créa l'Internet*. Eyrolles. 1995.

[ISOC] † 2003. Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock, Daniel C. Lynch, † 1998. John Postel, Lawrence G. Roberts, et Stephen Wolff. *A Brief History of the Internet*. version 3.32. Internet Society. 2003. en ligne : <http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml>. L'histoire d'Internet par quelques uns de ses pères..

[Negroponte] Nicholas Negroponte. *L'homme numérique*. R. Laffont. 1995. Les indications de page sont données à partir de la seconde édition anglaise de *Being digital* ..

[Verroust] Gérard Verroust. *Histoire, épistémologie de l'informatique et Révolution technologique*. Université de Paris VIII. 2006 (c. 10/4/2008). en ligne : <http://hypermedia.univ-paris8.fr/Verroust/cours/TABLEFR.HTM>.

[Wiener] Norbert Wiener. *Cybernétique et société*. 1952. trad. fr. de *The Human Use of Human Beings*. , 1950.