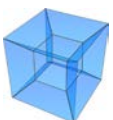


# Les grandes tendances de l'évolution de l'Informatique depuis 1950



## Une stratification dont il faut avoir les clés

« *Un bon calculateur n'a pas besoin d'une aide artificielle* », Lao Tze (604-531 avant J.C)



|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 3  |
| 2. Repères historiques .....                                    | 3  |
| 2.1. La préhistoire .....                                       | 3  |
| 2.1.1. Le calcul .....  | 3  |
| 2.1.2. L'information .....                                      | 4  |
| 2.2. L'histoire moderne .....                                   | 5  |
| 2.2.1. Les machines à calculer .....                            | 5  |
| 2.2.2. Le traitement de l'information .....                     | 5  |
| 2.3. Etymologie du mot « informatique » .....                   | 6  |
| 3. Moteurs de l'innovation .....                                | 7  |
| 4. Microprocesseurs et systèmes de stockage .....               | 7  |
| 4.1. Quelques dates clés .....                                  | 8  |
| 4.2. Circuit intégré : le cercle vertueux .....                 | 9  |
| 4.3. Evolution exponentielle .....                              | 9  |
| 4.4. Un milliard de transistors par circuit .....               | 10 |
| 4.5. Après 2010 ? .....   | 10 |
| 5. Stockage : de l'analogique au numérique .....                | 10 |
| 5.1. Transformation .....                                       | 10 |
| 5.2. La difficulté : archiver .....                             | 12 |
| 6. Des réseaux spécialisés à l'Internet .....                   | 12 |
| 6.1. L'essor des télécommunications .....                       | 12 |
| 6.2. Internet change la donne .....                             | 13 |
| 6.3. Le milliard d'utilisateurs en ligne .....                  | 14 |
| 6.4. Applications logicielles : une nouvelle architecture ..... | 14 |
| 7. Programmer ou assembler des composants logiciels ? .....     | 15 |
| 7.1. Les grandes tendances .....                                | 15 |
| 7.2. Repères Importants .....                                   | 15 |
| 7.3. Evolution des langages de programmation .....              | 16 |
| 7.4. L'approche orientée objet .....                            | 17 |
| 7.5. Les outils de développement visuels .....                  | 17 |
| 7.6. Vers l'assemblage de composants .....                      | 17 |
| 7.7. Les langages du futur .....                                | 18 |
| 8. Dialogue naturel avec les machines ? .....                   | 18 |
| 8.1. Navigateur Internet .....                                  | 19 |
| 8.2. Créer la confiance par la sécurité .....                   | 19 |
| 9. Les défis de demain .....                                    | 19 |
| 9.1. L'âge de l'information .....                               | 19 |
| 9.2. Les défis selon le Gartner .....                           | 20 |
| 9.3. Les autres grandes tendances .....                         | 21 |
| 10. Références .....  | 22 |



# 1. Introduction

Sur les quatre milliard d'années d'existence de notre planète, toutes les espèces connues datent de moins de cent million d'années, l'homme de moins d'un million d'années, le plus ancien dessin sur la paroi d'une caverne de 30 000 ans. Il y a 500 ans, l'invention de l'imprimerie accélérât la diffusion du savoir. 200 ans nous séparent de la machine à vapeur qui provoqua la révolution industrielle. Avec ses 60 ans, l'ordinateur fait figure de jeunot. Et pourtant quelle comparaison possible entre :

- Le premier ordinateur (30 tonnes, 140 kilowatts, quelques milliers de positions mémoire, 330 instructions par seconde)
- Le premier micro processeur Pentium en 1993 (quelques grammes, 25 watts, 8 à 32 Méga-octets de mémoire adressable, 100 millions d'instructions par seconde)
- Le i3, architecture Nehalem, en 2010 (quelques grammes, 73 watts, 3 niveaux de cache L1-2-3; 1 à 8 Giga-octets de mémoire, 2 cœurs / 4 thread, entre 612 et 2448 giga instructions par seconde)

Si nous concentrons notre attention sur les dimensions technologiques de l'évolution de l'informatique nous pouvons affirmer que lorsqu'il a été inventé, l'ordinateur était une curiosité de laboratoire. Au début des années 50, une étude de marché d'IBM restée célèbre évaluait le marché mondial à une cinquantaine de machines. Aujourd'hui, les 271 millions d'ordinateurs installés dans le monde<sup>1</sup> démontrent qu'il serait inconcevable de s'en passer dans la civilisation industrielle contemporaine. Depuis 1995, il se vend dans le monde plus de PC que de téléviseurs. La manière dont l'informatique a révolutionné l'activité intellectuelle et économique n'a pas d'équivalent dans d'autres domaines. Une description purement statique des techniques et des résultats est donc totalement insuffisante pour comprendre l'informatique. Une vision dynamique s'appuyant sur les grandes tendances de l'évolution est indispensable pour appréhender ce qui va se passer même à très court terme.

Simultanément aux technologies de l'informatique et des télécommunications les modes de partage de l'information et des connaissances ont évolués. En effet, pendant la renaissance nous assistons au développement de l'imprimerie, suivi pendant la période des lumières et le XIXème siècle du développement de la presse écrite. Le processus que l'on observe est donc l'enchaînement d'une découverte dans les sciences fondamentales suivie d'applications technologiques accompagnant un partage de la connaissance par de nouveaux moyens techniques. L'informatique permet aujourd'hui de numériser les informations et de les traiter. D'autre part, les nouveaux moyens de télécommunication facilitent l'échange et la diffusion de la connaissance. Ces nouvelles technologies changent donc profondément la vie au quotidien des citoyens, le fonctionnement des entreprises et des états.

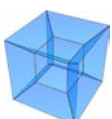
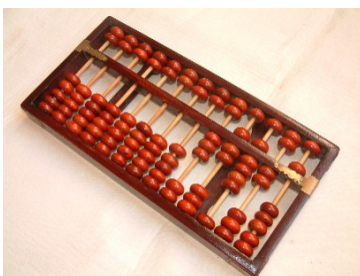
C'est en raison de la complexité de ces évolutions qu'un ingénieur, quel que soit son domaine d'intervention, doit maîtriser les concepts sous-jacents de l'informatique, ceux qui marquent les différences profondes entre les technologies actuelles, passés et futures, ainsi que les différentes notions relatives au sens et à la correction des évolutions. Cette culture informatique lui sera bien sûr nécessaire s'il réalise, dirige, ou contribue à diriger des développements informatiques, mais elle le sera aussi lorsqu'il aura à évaluer des éléments techniques ou à participer à des prises de décision stratégiques impliquant des choix d'orientation.

Je tiens à remercier tout particulièrement Jean-Paul Figer (<http://www.figer.com/publications/evolution.htm>) dont le travail est très largement repris ici. J'espère seulement avoir réussi à étendre son propos.

## 2. Repères historiques

### 2.1. La préhistoire

#### 2.1.1. Le calcul



Les outils d'aide au calcul existent depuis très longtemps. Le plus ancien est le bâton de comptage qui est un système mnémotechnique destiné à enregistrer un nombre grâce à des marques de dénombrement (35000 av JC) suivi du boulier Chinois (2000 av JC). Parmi les mécanismes les plus anciens, nous pouvons également noter l'existence des tables datant de l'époque d'Hammurabi (environ 1750 av JC). La machine d'Anticythère (100 av JC) est une calculatrice mécanique antique permettant de calculer des positions astronomiques montre également que les Grecs de l'Antiquité avaient commencé à réaliser des systèmes de calcul en dépit de leur réputation de mépris général pour la technique. Il ne faut pas oublier l'astrolabe (150-100 av JC) du grec astrolabos signifiant « instrument pour prendre la hauteur des astres » qui est une double projection plane. Vers l'an 1000 de notre ère nous pouvons mentionner les outils conçus par Al-Biruni comme l'équatorium qui est une calculatrice astronomique qui pouvait être utilisé pour déterminer la position de la lune, du soleil ou des planètes proches sans calculs en utilisant un modèle géométrique de représentation. Enfin vers 1090 le scientifique Su Song inventa une tour horloge astronomique à force hydraulique. Construite à Kaifeng, son mécanisme avait été inventé par le moine bouddhiste Yi Xing pour exploiter une sphère armillaire (modélisation de la sphère céleste) hydraulique.



## 2.1.2. L'information

L'invention de l'écriture cunéiforme est datée d'environ 3500 ans av JC en Mésopotamie. Elle est utilisée par les Babyloniens, Sumériens et Chaldéens principalement pour noter les comptes. Cunéiforme signifie « forme en coins » (du latin *cuneus*), à cause de la forme des éléments qui composent ses caractères. Il était principalement écrit avec un calame en roseau sur des tablettes d'argile. Le cunéiforme se lit de gauche à droite. Les Sumériens inventent aussi le sceau-cylindre qui constitue la première forme d'impression : des symboles sont gravés en creux sur un rouleau en pierre puis le rouleau est appliqué sur de l'argile fraîche dans laquelle il laisse l'empreinte qui constitue un sceau.

L'encre de couleur, le papyrus (rouleaux fabriqués à partir d'écorce de roseaux) et les hiéroglyphes sont utilisés apparemment pour la première fois par les égyptiens en 3000 av JC pour noter les événements importants et administratifs afin de les conserver. En 2500 av JC apparaissent en Chine les premiers rouleaux de soie pliés et brochés d'un côté pour donner naissance au livre.

Le disque de Phaistos, daté de 1700 ans av JC et retrouvé en Crète en 1908, semble être la première manifestation d'un acte d'impression. Il procède d'une application de symboles en relief dans de la glaise fraîche qui est ensuite cuite pour fixer le support. Le disque est recouvert sur ses deux faces de pictogrammes inconnus.



1000 ans av JC apparaît l'alphabet grec qui est, dans l'histoire, le premier alphabet utilisé pour écrire une langue indo-européenne. L'alphabet grec, appelé phoinikeia, est le premier alphabet à noter les voyelles, une nécessité pour la transcription des idiomes indo-européens, comme le Y (qui est le i grec). Il comporte 24 lettres. Le sens de lecture n'est pas fixé (de droite à gauche, de gauche à droite et parfois même en boustrophédon : une ligne de la droite vers la gauche suivi d'une ligne dans l'autre sens).





100 ans avant JC les Romains introduisent le codex (feuilles pliées et assemblées par une couture) à la place du volumen (feuilles séparées et roulées). Le codex, tel qu'il a d'abord été utilisé par les Grecs et les Romains pour noter les comptes de leurs commerces ou des exercices scolaires, était un



Codex Gigas : le plus grand manuscrit médiéval

petit cahier à anneaux contenant deux ou plusieurs tablettes de bois recouvertes de cire, sur lesquelles on pouvait écrire à l'aide d'un stylet ou style

et qui pouvaient être effacées et réutilisées plusieurs fois. Des feuillets de supplémentaires étaient quelquefois insérés entre les tablettes. Le codex en était alors arrivé à contenir plusieurs feuilles de papyrus ou, plus tard, de parchemin, rassemblées en petites liasses pliées en leur milieu. Ces paquets étaient posés les uns sur les autres, liés entre eux par les feuilles et attachés à des planchettes de bois par des lanières de cuir. Le codex permet au lecteur de trouver plus aisément le passage recherché et de se déplacer dans le texte vers l'avant ou l'arrière.



## 2.2. L'histoire moderne

### 2.2.1. Les machines à calculer

On attribue l'invention du logarithme à l'écossais John Neper (1550-1617). En 1614 celui-ci démontra que la multiplication et la division pouvaient se ramener à une série d'additions. Ceci permit dès 1620 l'utilisation de la règle à calcul inventée par Edmund Gunter.

Pour autant le vrai père de la théorie des logarithmes est Mohamed Ybn Moussa Al-Khawarezmi (780-850), un savant arabe issu de la ville persane appelée « Khawarezm ». Ce savant développa par ailleurs l'Algèbre, terme provenant de l'arabe « Al-Gabr », qui signifie compensation, sous-entendu « la compensation par la recherche de la variable inconnue X afin d'équilibrer les résultats des calculs ».

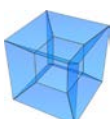
Apparaissent ensuite des machines de calcul mécanique :

- En 1623, William Schickard inventa la première machine à calculer mécanique.
- En 1642, Blaise Pascal créa la machine d'arithmétique (baptisée Pascaline), une machine capable d'effectuer des additions et soustractions, destinée à aider son père, un percepteur de taxes.
- En 1673, Gottfried Wilhelm Von Leibniz ajouta à la Pascaline la multiplication et la division.
- En 1834, Charles Babbage invente la machine à différence, qui permet d'évaluer des fonctions. Cependant il apprend qu'une machine à tisser (métier à tisser Jacquard) est programmée à l'aide de cartes perforées, il se lance donc dans la construction d'une machine à calculer exploitant cette idée révolutionnaire.

Il faudra attendre la définition du concept de programmation par Georges Boole et Ada Lovelace (théorie de la programmation des opérations mathématiques) pour disposer d'une base permettant d'enchaîner des opérations élémentaires de manière automatique.

### 2.2.2. Le traitement de l'information

Vers 1400 les premiers livres métallographiques apparaissent. Une plaque de cuivre est frappée avec des poinçons pour fondre un bloc en relief d'alliage de plomb. Une fois ce bloc démoulé, il est encre et une feuille est posée dessus. De même la xylographie fait son apparition en Allemagne et en Hollande. Textes et les dessins sont gravés à l'envers dans des plaques de bois taillées. Les planches sont alors enduites d'encre et une feuille posée dessus pour retrouver le texte à l'endroit, comme pour un tampon encreur. C'est en 1451 que Jean Gensfleisch, dit Gutenberg, imprime une grammaire latine et en 1454 un calendrier (Turkenkalender). Gutenberg n'a pas inventé l'imprimerie, il a perfectionné une invention qui existait déjà et qui était la presse (utilisée pour fabriquer des gravures sur bois - la xylogravure). Son invention réside dans l'association du texte et de la gravure par l'entremise des caractères en métal, appelés des types, qui permettaient l'impression du texte.





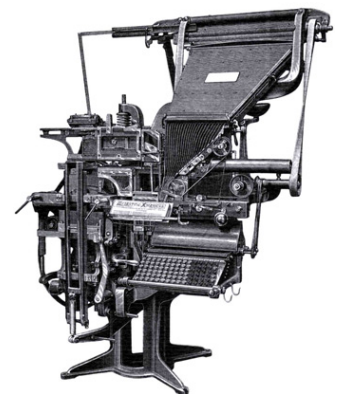
Le premier livre imprimé en série par Gutenberg est « la Bible à 42 lignes » en 1456. L'imprimerie moderne est née. C'est également la première utilisation des caractères mobiles en plomb qui permettent de composer les textes, lettre par lettre et ligne par ligne qui sont ensuite assemblés dans une forme de la taille de la feuille au lieu d'être gravés rendant les caractères réutilisables pour composer d'autres textes. Pour



compléter sa technique, Gutenberg met au point une presse à bras en s'inspirant des presses des vignerons. Grâce à cette technique, on peut déjà imprimer 300 feuilles par jour. La Bible de Gutenberg est un livre en 2 volumes de plus de 1200 pages. Elle a nécessité plus de 2 ans de travail pour être composée et imprimée. Elle sera tirée entre 150 et 180 exemplaires, dont 30 sur vélin. Sur les 48 exemplaires qui subsistent aujourd'hui, seuls 16 sont complets. Les peintures ont été ajoutées à la main dans des espaces laissés volontairement vides pour la décorer selon la même technique que celle utilisée par les enlumineurs.

Il faut alors attendre 1640 pour que Richelieu décide de la création de la première imprimerie d'état, l'Imprimerie Royale qui deviendra ensuite l'imprimerie nationale. Un nouveau pas est franchi en 1790 avec William Nicholson qui introduit le mouvement rotatif dans l'imprimerie en concevant le premier cylindre d'encre.

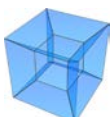
Enfin l'imprimerie sera révolutionnée dans les années 1880 par l'invention de la linotype (Otto Mergenthaler, 1884). Cette machine accélérât la composition en substituant au registage manuel des caractères mobiles une saisie au clavier de chaque ligne de texte accélérant l'opération tout en la rendant plus sûre. La saisie du texte au clavier se traduit par la composition mécanique d'une matrice, qui sert ensuite de moule pour une coulée d'un alliage étain-plomb, formant une *ligne-bloc* d'un seul tenant. C'est cette ligne-bloc qui était encrée et qui réalisait l'impression proprement dite. La société *Monotype Corporation Ltd* créa au fil des années ses propres polices de caractères, inspirées des fontes historiques, et la plupart sont encore protégées par copyright aujourd'hui. Pour les livres et la presse, l'impression par machines linotype se substitua à l'imprimerie traditionnelle à partir de 1900 et régna sans partage jusqu'au début des années 1970.



## 2.3. Etymologie du mot « informatique »

Les anglophones utilisent le terme computer science pour la science (informatique) et la science appliquée par opposition à information technology (autrefois data processing) qui regroupe toutes les techniques permettant de traiter les informations. Le terme « informatique » est utilisé pour la première fois en France en mars 1962 par Philippe Dreyfus, ancien directeur du Centre National de Calcul Électronique de Bull dans les années 1950, à partir des mots « information » et « automatique ». Il s'agit donc bien de la fusion de deux domaines : le traitement de l'information et les technologies automatique puis électronique.

En France, l'usage officiel du mot a été consacré par Charles de Gaulle qui, en Conseil des ministres, a tranché entre « informatique » et « ordnatique », et le mot fut choisi par l'Académie française en 1967 pour



désigner la science du traitement de l'information. Le terme allemand Informatik est créé en 1957 par Karl Steinbuch qui a publié un essai intitulé Informatik: Automatische Informationsverarbeitung (Informatique : traitement automatique de l'information).

En juillet 1968, le ministre fédéral de la Recherche scientifique d'Allemagne, Gerhard Stoltenberg, prononça le mot Informatik lors d'un discours officiel au sujet de la nécessité d'enseigner cette nouvelle discipline dans les universités de son pays, et c'est ce mot qui servit aussitôt à nommer certains cours dans les universités allemandes. Le mot informatica fit alors son apparition en Italie et en Espagne, de même qu'informatics au Royaume-Uni.

### 3. Moteurs de l'innovation

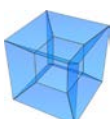
Il ne se passe pas de jours sans annonces de nouveaux produits matériels et logiciels tous plus performants les uns que les autres. Comment s'y retrouver et faire la part de ce qui est attendu ou innovant dans une industrie où la performance des microprocesseurs double tous les 18 mois, celle des fibres optiques tous les 12 mois et celle des disques tous les 9 mois ? Comment prendre des décisions qui ne risqueront pas d'être remises en cause dans le mois qui suit ? En fait, l'Informatique est tirée par l'évolution de la technologie dans cinq domaines : le matériel, les bases de données, les réseaux, le développement du logiciel et l'interaction homme-machine.

- En premier lieu ce sont les progrès continus des micro-processeurs et des systèmes de stockage qui permettent de fabriquer des équipements plus puissants et moins chers qui fixent le rythme de l'évolution de l'informatique.
- Cette performance permet de constituer des bases de données gigantesques. La numérisation des sons et des images rendue possible par les techniques de compression ouvre la voie aux données multimédia et à la gestion des connaissances.
- L'Internet donne naissance à des réseaux mondiaux de plusieurs dizaines de millions d'ordinateurs. Au début 2010, il y a 60 milliard de pages recensées sur le Web et ce nombre augmente de plusieurs millions par jour.
- La productivité et la fiabilité des développements logiciels progressent considérablement de la programmation à l'assemblage de composants logiciels.
- L'interaction avec la machine devient plus simple, plus intuitive avec l'introduction progressive des commandes tactiles et vocales qui rend le dialogue avec les machines plus naturel.

### 4. Microprocesseurs et systèmes de stockage

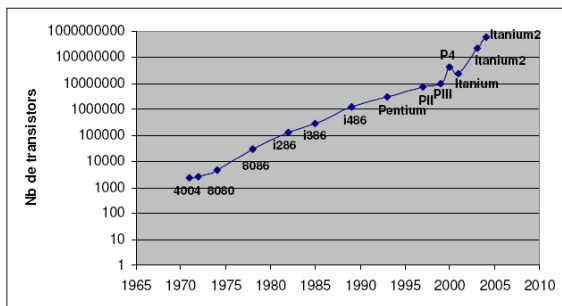
C'est l'évolution de la technologie des composants qui depuis plus de 60 ans joue un rôle moteur primordial dans le développement de l'informatique. Deux phénomènes presque simultanés se sont produits vers la fin des années 40. En 1945, John Von Neumann invente le calculateur à programme enregistré. En 1948 trois chercheurs des Bell Laboratories inventent le transistor :

- Vers 1840, le concept de programme avait été introduit par Charles Babbage (1792-1871)<sup>2</sup> comme élément d'une machine à calculer analytique qu'il se proposait de réaliser mais cette machine n'a jamais été construite. En 1945, John Von Neumann (1903-1957)<sup>3</sup> inventait la forme moderne du programme enregistré. Il introduit un raffinement important : écrire sous la même forme les instructions pour le traitement des données et les données elles-mêmes. Instructions et données étaient ainsi manipulées de la même manière par la machine ouvrant la voie à l'ordinateur moderne.
- En 1906 Lee de Forest invente la lampe à triode afin d'amplifier un courant électrique. La lampe triode permet le développement de la téléphonie et de la radio. C'est alors le composant majeur de tous les circuits électroniques. Cependant, la triode a un gros défaut : son filament, dont le chauffage consomme beaucoup d'énergie et dont la fragilité réduit la durée de vie à quelques centaines d'heures. La fiabilité d'équipements de plusieurs centaines de lampes devient intolérable. Le transistor est alors inventé en 1948 par John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain, trois chercheurs des Bell Laboratories. Le transistor consomme moins d'1/10000000ème de l'énergie nécessaire à la triode avec une durée de vie quasiment illimitée.





### Processeurs Intel : nombre de transistors l'année d'introduction



MI Informatique  
2008-2009

Architectures avancées  
D. Etienne

20

Source : Architecture Avancées (LRI)<sup>1</sup>

La synergie entre un nouveau composant et une nouvelle application a provoqué une croissance explosive des deux. En effet, les systèmes numériques demandent un nombre très élevé de composants : une simple calculatrice a besoin de 100 fois plus de transistors qu'un téléviseur. Le microprocesseur Pentium I comportait 3.1 millions de transistors en 1993. Ce nombre atteint, sur les derniers processeurs, plus de 1.7 milliard. La mémoire RAM des PC en contient plusieurs centaines de millions<sup>4</sup>.

La suite est toute trouvée et Intel, comme AMD, annoncent déjà les processeurs 8 cœurs qui intégreront plus de 2.5 milliards de transistors sur des structures de 45 à 32 nanomètres et dont les capacités intégrées d'hyperthreading<sup>1</sup> et d'accès mémoires vont aller croissant.

Avec un tel nombre de composants, le problème

clé à résoudre devient celui du nombre et du coût des connexions.

## 4.1. Quelques dates clés

En 1946 création de l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) par P. Eckert et J. Mauchly. La programmation de ce calculateur s'effectue en recablant entre eux, ses différents éléments. Composé de 19000 tubes, il pèse 30 tonnes, occupe une surface de 72 m<sup>2</sup> et consomme 140 kilowatts. Vitesse : environ 330 multiplications par seconde.



En janvier 1948 Wallace Eckert chez IBM termine le SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator). Cette machine est composée de plusieurs systèmes de stockage : 8 tubes à vide, 150 mots sur une mémoire à relais et 66 boucles de bandes papier pouvant stocker au total 20000 mots de 20 digits (digital unit). Cette machine pouvait lire ses instructions de l'une des boucles de papier ou en mémoire, ce qui en fait un calculateur à

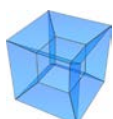
programme enregistré. Du point de vue d'IBM, il s'agit donc du premier vrai ordinateur.

En juin 1948, Alan Turing, à l'université de Manchester, termine une machine prototype appelée Manchester Mark I avec un système de mémoire composée de tubes. Le Mark I disposait d'une mémoire de 1024 bits tenant en un seul tube. La machine était programmée (en binaire) avec le programme stocké en mémoire et les résultats étaient lus sur un autre tube en binaire. Il s'agit donc du premier vrai ordinateur.



Entre 1949 et 1951 le Whirlwind (premier ordinateur temps réel) est créé au MIT par Jay Forrester, Ken Olsen et leur équipe. La recherche de la performance, de la fiabilité et de la rapidité de réponse dans cet ordinateur ont amené de grands progrès. Cette machine fut aussi le prototype des ordinateurs utilisés pour le réseau informatique de défense Américain SAGE (Semi Automated Ground Environment).

<sup>1</sup> Schématiquement, l'hyper-threading consiste à créer deux processeurs logiques sur une seule puce, chacun doté de ses propres registres de données et de contrôle, et d'un contrôleur d'interruptions particulier. Ces deux unités partagent les éléments du cœur de processeur, le cache et le bus système. Ainsi, deux sous-processus peuvent être traités simultanément par le même processeur





En 1951 P. Eckert et J. Mauchly lancent l'UNIVAC I (UNIVersal Automatic Computer). Il s'agit du premier ordinateur commercial de l'histoire. Le premier fût vendu au bureau de recensement Americain pour la modique somme de 750000 \$ pour l'ordinateur et 185000 \$ pour l'imprimante rapide. Il était capable d'exécuter 8333 additions ou 555 multiplications par seconde. 56 exemplaires furent vendus.



En 1952 IBM produit son premier ordinateur, l'IBM 701 pour la défense Américaine. 19 exemplaires seront produits. Cette machine disposait d'une mémoire à tubes cathodiques de 2048 ou 4096 mots de 36 bits et pouvait réaliser 16000 additions ou 2200 multiplications par seconde. La première machine sera installée à Los Alamos pour le projet de bombe thermonucléaire US.



En 1955 IBM lance l'IBM 704 développé par Gene Amdahl. Il s'agit de la première machine commerciale disposant d'un coprocesseur mathématique. Puissance 5 kFLOPS (milliers d'opérations en virgule flottante par seconde). On considère souvent que cette machine marque le début de l'ère des super ordinateurs dédiés au calcul scientifique. Elle utilisait une mémoire à tores de ferrite de 32768 mots de 36 bits et allait 3 fois plus vite que l'IBM 701. C'est sur cette machine que sera développé le langage FORTRAN.



## 4.2. Circuit intégré : le cercle vertueux

Ce qui va permettre le développement des circuits intégrés c'est la baisse des couts par connexion. De 1.5 euros sur un connecteur, ce coût passe à 0.15 euros sur une carte et tombe à un millionième d'euros à l'intérieur d'un circuit intégré. Depuis le début des années 60, la stratégie des ingénieurs a donc été extrêmement simple : mettre le maximum de composants et de connexions dans un circuit intégré pour diminuer les coûts. En 1995, on sait mettre 7 millions de transistors dans un Pentium ce qui représente environ 18 millions de connexions. Par des méthodes traditionnelles, il aurait fallu 40 ans à un câbleur pour réaliser ces 18 millions de connexions. Par la miniaturisation et par l'intégration dans un seul circuit intégré, on obtient ce résultat pour une centaine d'euros.

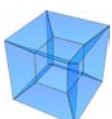
La taille d'un circuit intégré a peu évolué. L'accroissement du nombre de composants est obtenu principalement par une réduction de la taille des gravures sur les circuits. Cette réduction entraîne deux conséquences sur les performances et sur les coûts :

- Les performances s'améliorent constamment. La vitesse maximum de fonctionnement d'un transistor dépend du temps de transit des électrons à l'intérieur du transistor. Au fur et à mesure que l'intégration des transistors augmente, la taille diminue et les performances s'améliorent.
- Le coût marginal de production d'un circuit est à peu près constant (quelques euros). La matière première, le silicium, est disponible en abondance partout. Le prix unitaire d'un circuit est donc fixé par l'amortissement des études et de l'usine de fabrication. A performances constantes, le coût d'un microprocesseur ou de la mémoire est divisé par 10 tous les 4 ans.

A titre d'exemple au début des années 1980, le super ordinateur CRAY 1, capable de traiter 100 millions d'instructions par seconde était vendu 10 millions d'euros. Il nécessitait une grande salle machine et des équipements de climatisation. En 1996, un micro-ordinateur de cette puissance, à base de Pentium, avec la même capacité mémoire est la machine multimédia de base pour le grand public. Le prix est d'environ 1500 euros soit 660 fois moins que le CRAY 1. Ce micro-ordinateur fonctionne posé sur un bureau, sans précautions particulières. Aujourd'hui les PC portable embarquent des core 2 duo, donc une puissance multipliée par 100 par rapport au premier pentium, coutent entre 500 et 700 euros et sont transportables très simplement.

## 4.3. Evolution exponentielle

Le nombre de composants par circuit est passé, de manière très régulière, de quelques composants à la fin des années 50 à plusieurs millions aujourd'hui. Dès 1964, Gordon Moore<sup>5</sup>, alors directeur de la recherche chez Fairchild avant de créer la société Intel en 1968, fût le premier à prédire que le nombre de composants



par circuit continuerait à doubler tous les deux ans comme cela avait été le cas au cours des 5 années précédentes. Il n'y a pas eu depuis 60 ans de déviation significative par rapport à cette prédiction.

Comme prévu, au début de l'an 2000 les microprocesseurs ont un cycle d'horloge qui dépasse le Giga hertz. Les premiers microprocesseurs Intel à 64 bits sont disponibles au début 2001 sous le nom Itanium.

## 4.4. Un milliard de transistors par circuit

Quels sont les limites à cette intégration toujours plus poussée ? En fait, quel est le nombre maximum de composants qui pourront être intégrés dans un circuit ? Pour avoir une idée de ce nombre, il suffit de diviser la surface maximum d'un circuit intégré par la surface minimum d'un transistor :

- La surface d'un circuit intégré est un cristal de silicium pur. Compte tenu d'une probabilité raisonnable de ne pas avoir d'imperfections, cette surface maximum est d'environ  $10 \text{ cm}^2$ . Cependant, cette surface ne peut pas être remplie entièrement avec des transistors. Il faut laisser la place pour des connexions. Aujourd'hui on constate que le taux moyen de remplissage est d'environ 10% ce qui nous donne donc  $1 \text{ cm}^2$  utile.
- La longueur minimum d'un transistor est d'environ 400 atomes de silicium. Ce chiffre est obtenu en tenant compte de la proportion d'impuretés à incorporer dans le cristal de silicium. Ce transistor doit être isolé de part et d'autre sur le circuit par une longueur équivalente. La distance entre 2 atomes de silicium est de  $5.4 \times 10^{-8}$ . La longueur minimum du plus petit transistor est donc de  $400 \times 5.4 \times 10^{-8}$  soit environ  $10^{-4} \text{ cm}$  de côté ce qui donne une surface de  $10^{-8} \text{ cm}^2$ .

Le nombre maximum obtenu par ce calcul simplifié est donc d'environ 100 millions de transistors par circuit. En 1995, on savait intégrer 5 millions de transistors. Le milliard de transistors par circuit est aujourd'hui dépassé grâce à des évolutions majeures dans les technologies de gravage. Cela veut dire que le processus d'intégration que nous avons connus au cours des 60 dernières années est en passe de se terminer !

## 4.5. Après 2010 ?

La première idée qui vient à l'esprit consiste à utiliser la lumière à la place de l'électricité, le photon à la place de l'électron. Un ordinateur à photons pourrait fonctionner au moins 1000 fois plus rapidement qu'un ordinateur à électrons. Cependant, nous ne savons pas encore amplifier la lumière sans passer par l'intermédiaire de l'électron. Il reste à inventer le « transistor à photons » pour espérer réaliser un jour des ordinateurs photoniques. Certains dispositifs existent et permettent d'espérer une solution mais comme il n'y a pas de piste très sérieuse pour une industrialisation, il est très probable que nous continuerons au-delà de l'an 2010 avec la technologie actuelle basée sur l'électron.

La solution réside dans les architectures parallèles. Les calculateurs conventionnels exécutent les instructions de manière séquentielle. Dans les microprocesseurs performants, un parallélisme est introduit dans l'exécution des instructions. A l'insu du programmeur, le processeur de calcul effectue le maximum de traitements en parallèle en respectant la nature séquentielle du programme. Dans les systèmes multi core, au contraire, le système se compose d'un réseau de calculateurs identiques capables de traiter des programmes différents en parallèle. Nous savons utiliser les systèmes parallèles lorsque le problème à résoudre s'y prête naturellement comme le calcul vectoriel ou les traitements sur les pixels d'une image. A part ces quelques cas particuliers, l'utilisation des multi core dans les applications traditionnelles n'est pas évidente. Pourtant nous avons un excellent modèle à notre disposition : le cerveau humain. La vitesse de traitement des informations élémentaires dans le cerveau humain est très lente. L'information est transmise par une impulsion électrique à l'intérieur du neurone. Entre les neurones, ce sont des processus chimiques qui sont utilisés. La « vitesse de traitement » du cerveau est de quelques centaines de neurones par seconde. Cependant, ce cerveau est capable de réussir en moins d'une seconde des opérations extrêmement complexes par exemple la reconnaissance des visages. Les ordinateurs actuels parviennent péniblement à la reconnaissance des formes au prix de traitements informatiques très long. Nous sommes donc presque certains que le cerveau, composé d'environ 40 milliards de neurones reliés par une structure en réseau, utilise au maximum les traitements en parallèle. Cette analogie permet d'imaginer l'énorme réserve de puissance disponible lorsque nous saurons mieux utiliser les architectures parallèles.

## 5. Stockage : de l'analogique au numérique

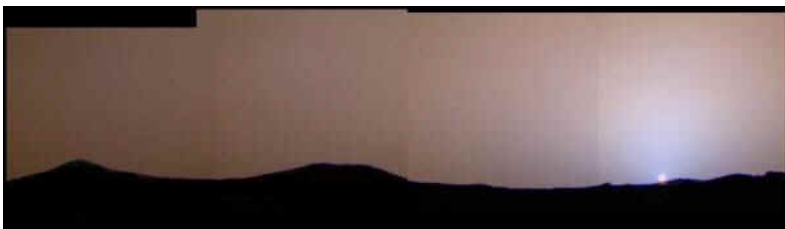
### 5.1. Transformation



Le Multimédia est souvent présenté comme le fruit de la convergence annoncée des technologies de l'Informatique, des télécommunications et du monde des médias. L'histoire des sciences retiendra surtout qu'à la fin de XXème siècle les informations traitées et stockées sont passées en moins de 30 ans d'une représentation « tout-analogique », propre à chaque média, au codage « tout-numérique ».

Edmund Gunter (1581-1626)<sup>6</sup> enseignait l'astronomie au collège de Gresham. On lui doit l'invention de l'échelle dite « de Gunter » ou règle logarithmique en 1620, qui simplifiait les opérations de calcul : sur cette règle, il suffisait d'ajouter ou retirer un écart à l'aide d'un compas pour multiplier ou diviser un nombre par un facteur. Pour simplifier cette opération, Edmond Wingate, en 1627 eu l'idée de faire coulisser deux échelles séparées, l'une contre l'autre, donnant naissance au concept de la règle à calcul. Cette règle à calcul analogique est remplacée par la calculette numérique en 1975.

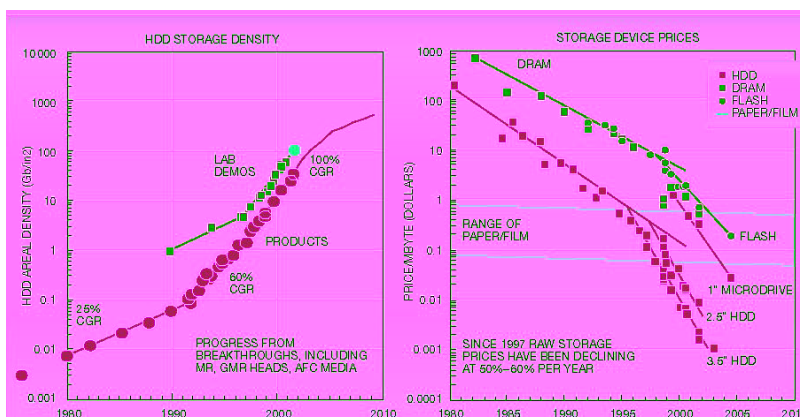
D'autres exemples illustrent ce mouvement, le disque 33 tours est remplacé par le compact disc numérique en 1982. En juillet 1997, les images de la sonde martienne Pathfinder, prises et transmises par des systèmes numériques, ont été publiées directement par la NASA sur Internet. Des millions de personnes en ont pris connaissance sans aucun intermédiaire analogique dans toute la chaîne depuis Mars.



Coucher de soleil sur Mars  
[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/marspath\\_ss24\\_1.jpg](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/marspath_ss24_1.jpg)

En 1998, il s'est vendu, pour la première fois dans le Monde, plus de téléphones mobiles où le son est numérisé de bout en bout que de téléphones fixes analogiques. La télévision numérique qui s'impose actuellement sur le câble et le satellite, a fait ses débuts en diffusion terrestre en novembre 1998 aux Etats-Unis. Avec l'appareil photo numérique grand public dont 180 000 exemplaires seront vendus en France en 1999, le dernier média analogique disparaît. Cette transformation radicale a été provoquée par les progrès dans les technologies de compression et des systèmes de stockage qui ont permis de construire des systèmes numériques de plus en plus puissants à des coûts raisonnables. L'évolution de la technologie des mémoires de masse est donc aussi déterminante que celle des unités centrales.

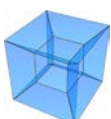
Sur les supports magnétiques, le coût du stockage de 1 000 caractères est passé de 2300 euros en 1955, à 1.5 euros en 1980 puis à 0.01 euro en 1995 et à 0,00015 euro en 2000. Comme pour la technologie des composants, la technologie de stockage des informations sous forme magnétique a fait des progrès fantastiques. L'ingénieur danois Valdemar Poulsen<sup>7</sup> a présenté le premier enregistrement magnétique à



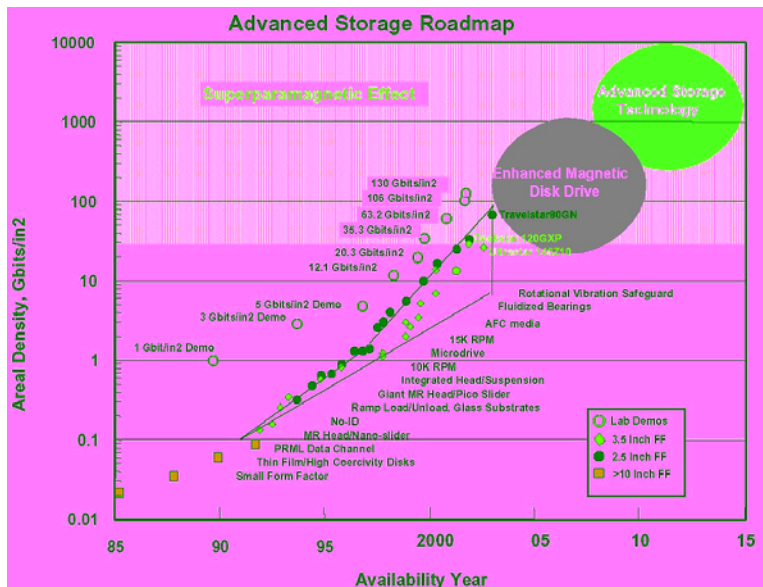
L'évolution de la densité du stockage - Source IBM

l'exposition universelle de Paris en 1900. Depuis cette date, la corde à piano a été remplacée par des matériaux magnétiques enduits sur des bandes de plastiques ou des disques rigides, mais le principe de l'enregistrement des données est resté le même que dans l'appareil de Poulsen. Un courant électrique peut magnétiser une petite zone de matériau magnétique, ce qui enregistre les données. La densité des enregistrements magnétique atteint le milliard de caractères par cm<sup>2</sup>. Comme pour les transistors, la diminution de la taille des zones magnétiques améliore non seulement la densité mais aussi la vitesse de lecture des données. A vitesse de lecture constante, le nombre de données lues est plus grand. En revanche, la diminution de la taille des zones magnétiques diminue l'intensité du champ magnétique à lire. L'invention des têtes de lecture magnéto résistives au début des années 90 a accéléré la vitesse des progrès. La densité de stockage double tous les 9 mois. Un bit n'occupe qu'une surface de 0.7 micron par 0.06 micron. La densité devient supérieure à celle des mémoires RAM. Le coût du stockage sur disque magnétique devient inférieur à celui du stockage sur papier ! Par contre les limites de l'enregistrement magnétique sont aujourd'hui atteintes. La densité maximum semble être aux alentours de 15 Giga bits par cm<sup>2</sup>.

La densité des enregistrements magnétique atteint le milliard de caractères par cm<sup>2</sup>. Comme pour les transistors, la diminution de la taille







Prévision d'évolution - Source Hitachi

enregistrables et des CD-RW que l'on peut enregistrer et effacer des milliers de fois. Le premier graveur de CD-ROM utilisé par l'industrie du disque coûtait un million de dollars. La diffusion massive de cette technologie dans le monde du PC a fait chuter le prix du graveur à moins de 100 euros, et il fonctionne 48 fois plus vite. Les sons, les images et surtout la vidéo numérique nécessitent des capacités beaucoup plus importantes. Les principaux fabricants mondiaux se sont mis d'accord fin 1995 sur le standard DVD qui permet de stocker 4.7 milliards de caractères par face soit une capacité dix fois supérieure à celle du CD-ROM pour la même surface.

## 5.2. La difficulté : archiver

Jamais les connaissances produites par l'humanité n'ont été aussi volatile, c'est le simple et terrible constat qui est fait aujourd'hui par nombre de spécialistes. Les premiers à s'y être intéressés dès les années 1980 sont les responsables d'archives pour les grandes bases de données structurées (Archives nationales françaises, NARA aux USA). Pour les bibliothèques de dépôt légal, l'obligation de conserver jeux et audiovisuels numériques était au même moment un nouveau défi, renforcé depuis 1995-2000, avec l'explosion de l'internet et la publication parfois exclusive sur ce média. Depuis le début des années 1990, s'y ajoutent les gros programmes de numérisation des collections physiques qui coûtent cher (moyens financiers et humains). Enfin, force est donc de constater que de plus en plus d'œuvres existent d'abord sous forme numérique voire n'existent plus que sous cette forme. Les défis auxquels nous sommes confrontés sont les suivants :

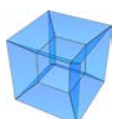
- Conserver de façon intègre et fiable, une information volumineuse et protéiforme
- Permettre un accès pérenne à cette information pour la garantie des droits en 1er lieu mais également au titre de la mémoire de l'humanité
- Assurer l'indépendance et la sécurité des données
- Maîtriser les coûts et les maintenir supportables par la collectivité
- Utiliser le plus possible des technologies ré exploitables (rôle de l'open-source)

## 6. Des réseaux spécialisés à l'Internet

Les réseaux ont toujours été des sources de progrès et d'innovation comme les routes et les aqueducs de l'empire romain ou les chemins de fer du XIXème siècle. Les réseaux téléphoniques, de télédiffusion ou de satellites du XXème siècle ont permis de nous affranchir des contraintes de l'espace et du temps.

### 6.1. L'essor des télécommunications

Il n'y a pas si longtemps, le téléphone était le seul moyen de communication entre les personnes. Depuis le début des années 70, les ordinateurs aussi échangent des données entre eux ou avec des terminaux. Les 7



millions de Minitel en France puis les centaines de millions de micro-ordinateurs dans le monde qui utilisent les millions de serveurs connectés à l'Internet ont provoqué une explosion des besoins en télécommunications. Les échanges de données entre ordinateurs nécessitent des capacités et des vitesses de transmission beaucoup plus élevées que pour le téléphone. Il faut donc augmenter considérablement les capacités des réseaux de télécommunications.

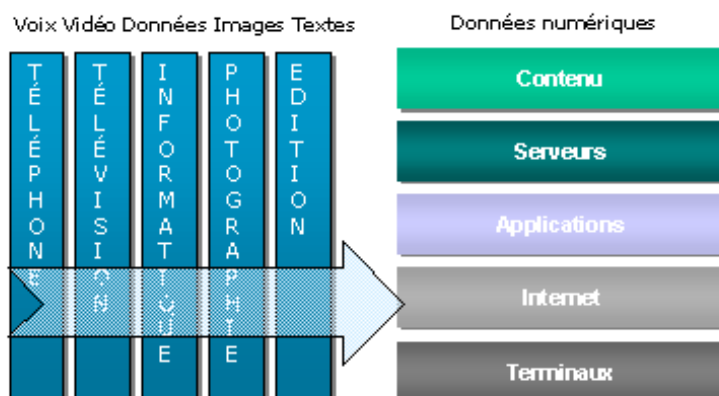
Après l'invention fondamentale du transistor en 1948, l'invention du Laser par Schawlow et Townes<sup>9</sup> a eu lieu en 1958. En utilisant Laser et fibres optiques, les électrons sont remplacés par les photons pour transporter les bits d'information. Les progrès ont été très rapides et les fibres optiques ont rapidement supplanté le cuivre comme technologie des télécommunications. Le dernier câble transatlantique métallique posé en 1975 permettait l'établissement de 10000 communications simultanées. Le premier câble transatlantique à fibre optiques posé en 1988 a une capacité de 40000 communications simultanées.

Le développement de la technologie des fibres optiques est très rapide. De 4 500 ans avant J.-C. aux années 60, la transparence du verre avait été améliorée dans un rapport 10000. Depuis 1960 un autre rapport 10000 a été gagné. Une fenêtre épaisse de 10km, réalisée dans la meilleure fibre optique serait plus transparente qu'une fenêtre de verre traditionnel de 1cm d'épaisseur. Aujourd'hui, la performance des réseaux à fibres optiques double tous les 12 mois à comparer au doublement tous les 18 mois de la puissance des micro-processeurs.

La technologie actuelle peut encore progresser d'un facteur supérieur à 1000. Il faudra sans doute 10 ans pour y arriver, ce qui donne des possibilités d'amélioration considérable des capacités et des débits jusqu'en 2020.

## 6.2. Internet change la donne<sup>10</sup>

Cependant, le développement des technologies numériques est en train de changer complètement les règles du jeu. Les réseaux spécialisés, optimisés pour un seul média, sont remplacés par une infrastructure unique réduite à son rôle le plus élémentaire : la connectivité. Fondée sur les technologies de l'Informatique et les standards de l'Internet, cette infrastructure permet maintenant de tout connecter à tout, partout.



Autrefois, chaque média avait construit son infrastructure spécialisée. Pour fournir un service de téléphone, il fallait d'abord faire des investissements considérables dans un réseau dédié et dans des équipements terminaux. Pour développer la télévision, il avait été nécessaire de tout standardiser depuis les caméras jusqu'aux récepteurs de télévision. Ces deux réseaux avaient été en leur temps des réussites techniques exemplaires.

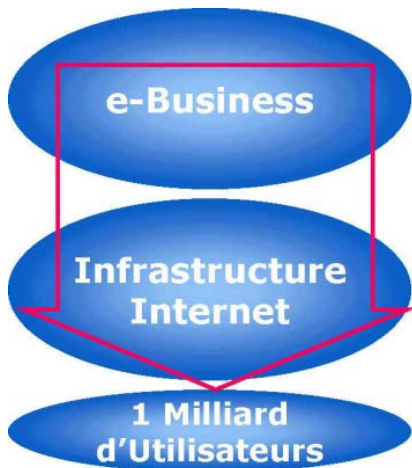
Cependant, l'interdépendance de tous les éléments rend les évolutions très difficiles et très lentes. Le passage du téléphone au

numérique (Numéris) a été un échec commercial car il était nécessaire de changer les équipements terminaux pour un avantage minime. L'évolution de la télévision vers la couleur ou le son stéréo a été lente et complexe pour rester compatible avec les équipements installés. De surcroît, les opérateurs qui contrôlaient l'infrastructure n'avaient aucune incitation à suivre la baisse des coûts des équipements. Par exemple, la réduction considérable des coûts des calculateurs (le rapport est de l'ordre de 1 à plusieurs millions !) ne s'est pas vraiment traduite dans la baisse des prix des communications téléphoniques.

Le remplacement des terminaux simples par des PC puissants a permis de déployer la technologie Internet. Internet réduit le réseau à sa fonction de base : assurer la connexion entre des équipements. En revanche, il ne fournit aucun des services assurés traditionnellement par les opérateurs de télécommunications comme l'acheminement correct des informations ou une garantie de débit. Chaque élément d'un réseau Internet a le droit d'éliminer les informations qui circulent en cas d'incident ou de surcharge. Ce sont les logiciels des machines connectées qui font leur affaire de s'adapter au débit disponible, de renvoyer si nécessaire les informations perdues et bien sûr de s'adapter au type de contenu. Cette simplification du réseau a un prix : il faut une puissance de calcul d'environ un million d'instructions par seconde à chaque extrémité. Il y a seulement dix ans, seules les stations de travail haut de gamme supportaient cette pénalisation. Aujourd'hui, le PC bas de gamme exécute plusieurs centaines de millions d'instructions par seconde rendant ainsi économique l'usage de cette technologie.



## Le modèle e-business



L'infrastructure Internet change donc la donne. Elle permet d'éliminer les interdépendances en séparant l'infrastructure de communication et les applications qui l'utilisent. Il se crée ainsi deux marchés mondiaux très concurrentiels: celui qui fournit la connectivité mondiale et celui des contenus et des services. Cette nouvelle concurrence a déjà permis de réduire le coût de la connectivité par un facteur de 1 à plusieurs milliers. Avec un accès par le Câble ou l'ADSL, un particulier est connecté en permanence à grande vitesse sur Internet pour 30 euros par mois. Mais surtout, cette nouvelle infrastructure favorise l'innovation. Les nouvelles applications ou les nouveaux services peuvent bénéficier sans investissement d'une connectivité mondiale vers bientôt un milliard de clients potentiels à un coût dérisoire

### 6.3. Le milliard d'utilisateurs en ligne

Environ un milliard et demi de personnes sont connectés au web en 2010. Ce marché d'utilisateurs accessible quasi gratuitement au travers d'une simple liaison Internet devient l'enjeu de la ruée vers l'or du 21ème siècle : la bataille des parts de marché dans la nouvelle économie autour des domaines clés que sont les portails d'accès, les services financiers ou la vente au détail.

Moins visible mais beaucoup plus important pour l'évolution de l'Informatique, ceci va peser sur l'architecture des applications informatiques des entreprises. Toutes les innovations technologiques et tous les nouveaux développements seront passés au crible de ces clients, expérimentateurs ou développeurs. Un processus de sélection «Darwinien» remplace les décisions de comités souvent biaisées (politique, orientations stratégiques, incompétence). Cette formidable coopération mondiale informelle a déjà produit les meilleurs logiciels. Le temps où un fournisseur pouvait protéger son « empire » par des normes propriétaires est désormais révolu.

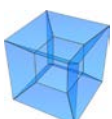
### 6.4. Applications logicielles : une nouvelle architecture

En 1969, Charles Goldfarb, Edward Mosher et Raymond Lorie lancent chez IBM un langage descriptif nommé GML (Generalized Markup Language), destiné à encapsuler l'ancien langage Script trop lié physiquement aux possibilités techniques des imprimantes. L'ensemble est commercialisé sous le nom de DCF (Document Composition Facility). Goldfarb quitte IBM pour développer un successeur de GML appelé SGML (Standard Generalized Markup Language), publié en 1986 comme norme ISO (ISO 8879:1986). Les Communautés européennes s'associent à ce développement novateur dès 1984 et adoptent alors le SGML comme standard pour leurs très nombreuses publications officielles, dans le cadre du projet FORMEX (Formalized Exchange of Electronic Publications). Elles développent aussi Mark-It, le premier parser SGML.

L'un des principes fondamentaux sur lequel repose le SGML est la séparation complète entre la structure logique d'un document (titres, chapitres, paragraphes, illustrations,...), qui est identifiée par des balises insérées dans le document lui-même, de sa mise en page, qui dépend du support de présentation (livre, journal, écran, graphique) et qui est définie en dehors du document dans une ou plusieurs feuilles de style (police, style, taille et couleur des caractères, alignement et espacement des paragraphes). HTML (HyperText Markup language), créé par Tim Berners-Lee pour le World Wide Web, est une application de SGML.

La diffusion d'Internet auprès des utilisateurs est une preuve concrète de l'efficacité de cette technologie : Internet s'est déployé beaucoup plus rapidement que la radio, la télévision ou le téléphone mobile. Cette infrastructure comporte non seulement un réseau IP (Internet Protocol) mais encore l'accès aux applications en mode HTTP (HyperText Transfer Protocol) sous un navigateur HTML et échangeant des données en XML. Les avantages pour l'entreprise sont immédiats : une infrastructure unique pour toutes les applications informatiques et multimédia, un poste de travail banalisé indépendant des systèmes centraux et des serveurs locaux et un déploiement technique instantané des nouvelles applications.

La révolution Multimédia bouscule les acteurs en place. A la lumière de ces évolutions techniques, il est facile de prévoir que la maîtrise de l'infrastructure Internet et la maîtrise des contenus et des services seront les enjeux de la prochaine décennie. Cette maîtrise nécessite de changer profondément la manière de communiquer, de gérer l'information, de faire du commerce, de travailler et de concevoir et réaliser des produits. Le risque est grand de continuer à faire du vieux avec du neuf. En évitant les biais des réseaux précédents optimisés autour d'un contenu, Internet a créé une place de marché pour des concepts





nouveaux qui tirent parti de la connectivité. Cette infrastructure est une frontière clé entre un média de communication et les applications construites sur ce média. C'est une frontière très spéciale, puisqu'elle permet à ces deux marchés de fonctionner selon leurs propres règles. Avec les nouvelles technologies numériques, l'avantage s'est déplacé vers une conception souple qui permet de tirer rapidement parti d'opportunités non prévues.

## 7. Programmer ou assembler des composants logiciels ?

### 7.1. Les grandes tendances

On distingue 4 générations de langages de programmation et au moins deux nouvelles tendances :

- Génération 1 : Langages machine
- Génération 2 : Langages symboliques
- Génération 3 : Langages indépendants du matériel, comme Basic, C, Cobol, Algol
- Génération 4 : Langages conçus pour décrire le problème, comme Simula et autres langages à objets
- Tendance 1 : Les langages à programmation logique qui prétendent représenter la cinquième génération mais leur utilisation est marginale. La cinquième génération pourrait être celle des langages Internet, donc fonctionnant sur toute machine et compilés en code intermédiaire (dit virtuel).
- Tendance 2 : Les langages "Markup" inspirés de SGML sont la dernière tendance, ils intègrent le code et les données sous une forme extensible, et qui fonctionnent sur le web

Indépendamment de ces générations théoriques, les grandes dates sont les suivantes :

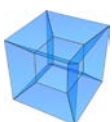
- Années 50 : Création des langages de haut niveau (plus proches de l'homme).
- Années 60 : Foisonnement de langages spécialisés. Tentative sans succès d'imposer des langages généraux.
- Années 70 : Duel entre les grands types de programmation structurée.
- Années 80 : Expérimentation d'autres voies et notamment des objets.
- Années 90 : Généralisation de la programmation objet grâce aux performances des micro-ordinateurs.
- Années 2000: Programmation Internet.

### 7.2. Repères Importants

Les progrès de la miniaturisation fixent le rythme d'évolution de la technologie du matériel mais c'est la vitesse de déploiement du logiciel qui est déterminante pour la pénétration des ordinateurs dans toutes les activités industrielles ou intellectuelles. Le logiciel transforme l'ordinateur d'un outil qui peut théoriquement résoudre un problème en un outil qui le résout en pratique. Le matériel est au logiciel ce que les instruments sont à la musique. Léonard De Vinci définissait la musique comme le « modelage de l'invisible ». Cette définition est encore plus adaptée à la description du logiciel.

Si les progrès ont été foudroyants dans le domaine du matériel, ils ont été tout aussi impressionnant dans le domaine du logiciel. 15 ans après la définition de l'architecture des machines par Von Neumann en 1945, presque tout avait été inventé et les programmeurs attendaient déjà des machines plus puissantes pour progresser. Il suffit pour s'en convaincre de se souvenir des dates d'apparition des langages :

- Assembleur en 1950, Maurice V. Wilkes de l'université de Cambridge
- FORTRAN (FORmula TRANslator)<sup>11</sup> en 1957, John Backus<sup>12</sup>
- LISP (List Processing) en 1959, John McCarthy
- COBOL (COmmon Business Oriented Language) en 1960 par le « Short Range Committee »
- PL/1 (Programming Language 1) en 1963 par IBM



- BASIC (Beginner's All-purpose Symbol Instruction Code) en 1964, un dérivé du FORTRAN
- PASCAL (nommé à la mémoire de Blaise Pascal) en 1972, Niklaus Wirth
- C (simplement successeur du langage B) en 1972, Dennis Ritchie, Ken Thompson, et Brian Kernighan
- C++ (simplement une amélioration de C) en 1979 mais dont la première normalisation date de 1998, Bjarne Stroustrup
- ADA (Comtesse Augusta Ada, 1815-1852) en 1983, Jean Ichbiah
- Perl en 1987, Larry Wall. Initialement Larry Wall avait prévu de nommer son langage « pearl », d'après une parabole biblique se trouvant relatée dans l'évangile selon Matthieu (chapitre 13, versets 45<sup>2</sup> et 46<sup>3</sup>). Malheureusement il existait déjà un langage de programmation dénommé PEARL. Finalement, Wall changea simplement l'orthographe pour arriver à « Perl »
- JAVA en 1992 par James Gosling et Patrick Naughton. L'origine de l'acronyme n'est pas claire à ce jour. Les trois pistes les plus probables sont a) il signifie James Gosling, Arthur Van Hoff et Andy Bechtolsheim, b) beaucoup plus simplement Just Another Vague Acronym, c) le code hexadécimal sur 4 octets des fichiers de classe est 0xCAFEBAFE
- Delphi (en référence à la ville grecque de Delphes et à la déesse de la guerre Athéna – symbole du langage le casque d'Athéna) en 1995, Anders Hejlsberg
- C# (« C sharp » inspiré d'une notation musicale dans laquelle le # indique que la note marquée doit être jouée un demi ton au dessus) en 2000, Anders Hejlsberg

Il en est de même pour les systèmes d'exploitation. Les fonctions offertes à un programme développé en 1966 sous l'O.S. des IBM 360 étaient pratiquement les mêmes que celles disponibles aujourd'hui sous la toute dernière version OS/390. La première version d'UNIX a été développée à partir de 1969 et les bases de données relationnelles sont nées en 1970.

Les premiers programmes d'ordinateurs avaient été fabriqués par des mathématiciens et des scientifiques qui pensaient que le travail était simple et logique. Le logiciel s'est révélé plus difficile à développer qu'ils ne l'avaient supposé. Les ordinateurs étaient têtus. Ils s'obstinaient à faire ce qui était écrit plutôt que ce qui était voulu. Le résultat fut qu'une nouvelle race d'artisans prit le relais pour faire le travail, les développeurs de logiciels. Ils n'étaient souvent ni mathématiciens, ni scientifiques mais ils étaient profondément engagés dans une aventure avec les ordinateurs, une aventure précurseur d'une nouvelle science.

### 7.3. Evolution des langages de programmation<sup>13</sup>

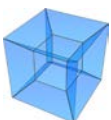
L'idée des langages de programmation est aussi vieille que celle du calculateur digital. Il suffit de programmer un ordinateur directement en code binaire pour comprendre immédiatement pourquoi. Les premiers programmeurs ont donc rapidement inventé des notations symboliques appelées « langage » traduites en code binaire par un programme appelé « compilateur ». Parmi les premiers langages, celui dont l'influence a été la plus grande est sans nul doute le FORTRAN développé par John Backus et ses collègues chez IBM. Il n'était pas sûr qu'à une époque où la puissance des machines était très limitée, un compilateur puisse produire du code efficace. Cet objectif avait été atteint et FORTRAN est encore utilisé aujourd'hui. Cependant, la version originale de FORTRAN comportait des contraintes inutiles, des structures de données limitées et surtout de sérieuses déficiences dans le contrôle de la logique du programme. Dans un certain sens, on peut dire que toutes les recherches dans la définition de nouveaux langages de programmation ont été motivées par des essais de correction des défauts du FORTRAN.



Que les langages aient été définis par un Comité comme COBOL, une organisation commerciale comme PL/1, un individu comme PASCAL ou par le Ministère de la Défense américain comme ADA, toutes les

<sup>2</sup> 13:45 - Le royaume des cieux est encore semblable à un marchand qui cherche de belles perles.

<sup>3</sup> 13:46 - Il a trouvé une perle de grand prix ; et il est allé vendre tout ce qu'il avait, et l'a achetée.



tentatives de définir le langage universel ont échoué, laissant la voie libre à des milliers de langages dont seulement une petite dizaine est largement répandue.

Contrairement au matériel, les progrès dans le logiciel ne viennent pas d'une seule technologie ou même d'une technologie dominante. Par exemple dans le domaine des langages, les progrès proviennent de meilleures structures de contrôle de programmes, de meilleurs environnements de programmation, d'outils de programmation plus puissants. L'évolution semble lente, mais il y a progrès. Après quelques années, ces progrès ne sont plus perçus comme des améliorations mais comme des nouveautés. Mais ce qui est surprenant, c'est que les vieilles techniques ne disparaissent pas. Certains continuent de programmer dans des langages qui datent de 50 ans comme FORTRAN ou même en écriture assembleur alors que d'autres considèrent ces outils comme des fossiles vivants. Charles Quint disait « je parle en espagnol à Dieu, en italien aux femmes, en français aux hommes et en allemand à mon cheval ». Pour les hommes comme pour les machines, il n'y a pas de langage idéal.

## 7.4. L'approche orientée objet

Dans les langages procéduraux (FORTRAN, COBOL,...), les instructions du langage sont impératives et s'adressent à une entité qui n'est pas désignée tout simplement parce qu'il n'y a qu'une seule possibilité : c'est l'ordinateur considéré comme un tout. Dans les langages orientés objets, l'ordinateur est virtuellement divisé en objets qui peuvent être adressés individuellement. Ces objets peuvent communiquer entre eux en envoyant des messages. Cette approche a été introduite pour la première fois par Ole-Johan Dahl et Kristen Nygaard dans Simula (Simple Universal Language, 1962), un langage dérivé d'Algol 60 (Algorithmic Oriented Language, 1959). L'idée n'a pas suscité beaucoup d'intérêt jusqu'au développement de Smalltalk (inspiré de Lisp et Simula) en 1972 par Alan Kay et ses collègues du Xerox Palo Alto Research Center. Cette approche s'est répandue progressivement dans les années 80 (Objective C, C++), au fur et à mesure que les performances des ordinateurs masquaient l'inévitable inefficacité du code.

Avec les langages procéduraux classiques, le logiciel est produit en enchaînant des procédures qui contiennent des types de données et des algorithmes. La programmation orientée objet généralise la notion de type, combine algorithmes et données en objets et supprime la décomposition fonctionnelle des langages procéduraux. Cette décomposition est remplacée par l'héritage, le polymorphisme et l'échange de messages. L'héritage permet de définir de nouveaux objets à partir d'objets existants. Le polymorphisme permet de définir des actions indépendantes des caractéristiques d'un objet particulier. A la place de gros blocs de programmes contenant des clauses « if-then-else », un programme orienté objet contient des fonctions polymorphes qui résolvent les « if-then-else » pendant l'exécution. Cette souplesse explique d'ailleurs la relative inefficacité de ces langages.

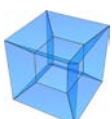
Toutefois, l'héritage et le polymorphisme sont aussi complexes et sujets à erreurs que la décomposition fonctionnelle traditionnelle. Ainsi l'approche orientée objet n'apporte guère de gains en terme de productivité des programmeurs. En revanche, cette approche a d'autres mérites : en particulier elle introduit la notion de réutilisation. Avec la réutilisation, l'ère des grands projets informatiques qui repartent de zéro est révolue. Des objets seront développés par des artisans du logiciel qui les fourniront aux réalisateurs de systèmes plus importants.

## 7.5. Les outils de développement visuels

Tous les outils de développement visuels, depuis les interfaces graphiques jusqu'aux générateurs de programmes, permettent des accroissements de la productivité dans un rapport qui peut aller de 1 à 5. Ces outils avaient été initialement dédaignés par les « vrais programmeurs », adeptes de C ou de C++. Mais grâce aux accroissements de productivité et à une plus grande facilité de création ou de modification, les programmeurs « à la souris » gagnent du terrain si l'on en juge par la percée d'outils comme Visual Studio de Microsoft ou Visual Edge d'IBM. Les outils de base du programmeur moderne s'appuient sur des ateliers visuels, des techniques objets et des bibliothèques de composants.

## 7.6. Vers l'assemblage de composants

Les espoirs engendrés depuis 10 ans par les technologies « Orientées Objets » ont tardé à se matérialiser. Le principe de l'objet est de dissocier la réalisation des objets de leur utilisation. Ce principe est encore plus intéressant pour la réalisation des applications si on se borne à assembler des objets existants. Jusqu'à présent les infrastructures propriétaires fragmentaient le marché des objets. En outre, comme il n'y avait pas de langage commun pour la représentation des données, les objets manipulant des données étaient peu réutilisables. Dans ce domaine aussi, Internet change la donne : il existe maintenant une architecture unique pour les applications -HTTP-IP-XHTML- et un métalangage pour les données -XML-. Le marché des objets





se développe très rapidement et la part programmation dans la réalisation des systèmes diminue considérablement.

## 7.7. Les langages du futur

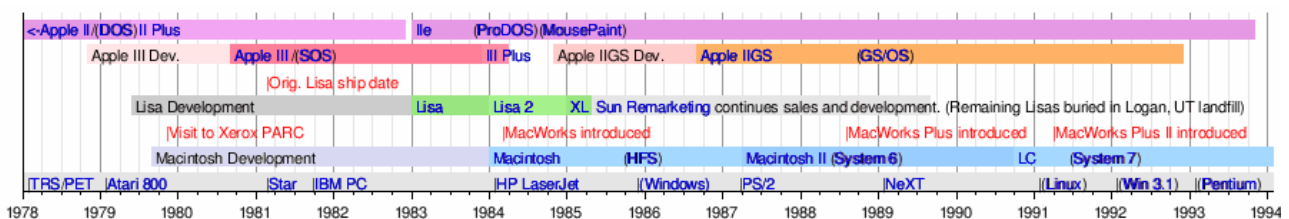
On voit qu'après la pléthore de dialectes des années 70, l'invention de langages a stagné quand à la syntaxe. Les langages courants, même récents comme Java, C#, PHP, n'apportent aucun changement aux instructions du traitement. Les capacités actuelles des ordinateurs ne sont pas exploitées.

Quelques tendances pour l'avenir :

- Langages simples. Il existe une tendance à la modernisation avec des langages de script comme Python, Ruby, NetRexx, Scriptol. Python est le plus utilisé actuellement. Ruby est surtout utilisé pour la bibliothèque Rail. Scriptol dispose de fonctionnalités innovantes.
- Langages Internet : De 1992 à 2000, les concepteurs paraissent s'être consacrés à implémenter l'orientation objet sur tous les langages existants. Aucun nouveau langage d'application, mais apparition de langages Internet comme JavaScript, ASP, PHP, qui tendent à mêler données et fonctions de traitement.
- Langages Markup : La tendance la plus récente est de transformer les documents XML en exécutables. Scriptol est le premier langage à utiliser XML comme structure de donnée intégrée aux sources, et accessible aux instructions du langage. Cela constitue un nouveau pas après la programmation orientée-objet. XUL, par exemple, est un projet Mozilla qui intègre JavaScript dans du code XML pour définir très facilement des interfaces utilisateur graphiques. Sur le Web avec Firefox ou localement avec le runtime XulRunner. Autre exemple avec Microsoft qui propose XAML de façon très généralisée pour définir les interfaces graphiques et sur le Web Silverlight.
- Un nouveau langage C++, dit C++0x, soit probablement C++09. Il aura des tuples (listes non mutables, liste ordonnée d'éléments), un garbage-collector, et une librairie standard étendue, avec expressions régulières et multithreads.
- SQL Les applications Web et les sites dynamiques du Web 2.0 rendent le SQL de plus en plus incontournable en programmation moderne.

## 8. Dialogue naturel avec les machines ?

Un programme transforme l'ordinateur en un outil adapté à un usage particulier, que cet usage soit la fabrication d'un avion ou l'écriture d'un document. L'interface utilisateur, c'est la partie du logiciel qui sert d'intermédiaire entre l'utilisateur et le programme. Autrefois l'interface utilisateur était la dernière partie à être conçue. Maintenant, c'est devenu la première. En effet, pour le débutant comme pour l'utilisateur expérimenté, ce qu'il perçoit devient « son » ordinateur. Cette illusion est la métaphore simplifiée que chacun construit pour expliquer les actions du système ou pour provoquer de nouvelles actions. Il faut noter les travaux fondamentaux réalisés dès 1973 par les équipes du Xerox Palo Alto Research Center (XPARC) avec l'invention de la souris et des fenêtres qui ont donné naissance aux premiers produits commerciaux comme le Xerox STAR en 1978 ou l'Apple LISA en 1982. Coûteux et peu performants, ces produits ont été des échecs. En 1985, le Mac d'Apple a été le premier produit à réussir commercialement suivi en 1990 par Windows 3.0 de Microsoft dans le monde du PC.



Source : [http://en.wikipedia.org/wiki/Apple\\_Lisa](http://en.wikipedia.org/wiki/Apple_Lisa)

La plupart des principes et des périphériques développés pour améliorer cette métaphore sont maintenant devenus très courants dans la conception des logiciels. Le principe le plus important a été le WYSIWYG (« What You See Is What You Get ») : l'image sur l'écran est toujours une représentation fidèle de la métaphore de l'utilisateur. Chaque manipulation de cette image entraîne une modification prévisible de l'état du système ou tout au moins tel que l'utilisateur l'imagine. Les éléments de cette métaphore qui se sont imposés actuellement sont les fenêtres (Windows), les menus, les icônes et un outil de pointage. Les



fenêtres rendent possible la représentation simultanée sur l'écran de plusieurs activités. Les menus permettent de choisir les prochaines actions. Les icônes représentent des objets informatiques sous forme concrète. L'outil de pointage, généralement la souris, permet de sélectionner les fenêtres, menus et icônes.

Tout cela a donné naissance à une nouvelle génération de logiciels interactifs, à base de métaphores, qui utilisent cette réalité virtuelle pour simplifier la tâche de l'utilisateur et pour démultiplier ses capacités à simuler le fonctionnement du programme sans avoir à faire appel à des abstractions ou à des programmes cachés. Le concepteur de logiciel doit contrôler le contexte théâtral qui sert à créer l'illusion de la réalité pour améliorer la simplicité d'emploi pour l'utilisateur.

## 8.1. Navigateur Internet

Le navigateur Internet devient l'interface universelle entre l'homme et la machine. D'un point de vue technique, le navigateur traduit le langage HTML et les données XML, en une présentation qui tient compte des capacités de l'équipement et de l'utilisateur. Entre un téléphone mobile et une station de travail, il faut s'accommoder d'un rapport de 1 à 100 entre la taille des écrans, la puissance des machines et les performances des réseaux. Il faut aussi s'accommoder d'une grande disparité entre les utilisateurs qui vont du débutant à l'expert ou qui peuvent souffrir de handicaps moteurs visuels ou auditifs. Mais au-delà de cette indépendance par rapport aux équipements, c'est la simplicité du « pointer/cliquer » de l'hypertexte et la convivialité des documents multimédia qui expliquent le succès de cette technologie :

- Le « pointer/cliquer » de l'hypertexte a été rendu possible par la percée décisive de l'adressage unique universel des documents grâce aux URI/URL (Uniform Resource Identifier ou Locator) qui permettent de pointer d'un seul clic sur n'importe quel document à l'intérieur d'un univers sans s'y connecter au préalable et sans contrôle a priori de validité. Sans le célèbre « HTTP 404 document non trouvé », la gestion des documents aurait été impossible.
- La convivialité du multimédia avec images, sons et vidéos intégrés dans le navigateur simplifie la tâche de l'utilisateur qui n'a plus à se préoccuper de la nature du contenu du document.

L'accès aux applications par un navigateur engendre de nombreux avantages qui expliquent le déploiement rapide de l'Internet :

- L'élimination des longues et coûteuses installations de logiciels sur les postes de travail. Les mises à jour ou les logiciels nécessaires sont automatiquement téléchargés sans action particulière de l'utilisateur.
- L'accès universel depuis un poste de travail banalisé à toutes les applications indépendamment des systèmes utilisés. Ce découplage entre le poste client et le système serveur permet à chacun d'évoluer séparément.

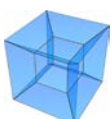
## 8.2. Créer la confiance par la sécurité

Quand Jules César envoyait ses instructions à ses généraux, il n'avait confiance ni dans la sécurité du réseau de voies romaines ni dans les messagers. Il chiffrait donc ses messages par une méthode de substitution de lettres. Comme les voies romaines, le réseau Internet assure la connectivité, pas la sécurité. Sécuriser les données, c'est garantir l'authentification réciproque des correspondants pour être sûr de son interlocuteur, l'intégrité des données transmises pour être sûr qu'elles n'ont pas été modifiées accidentellement ou intentionnellement. Il est parfois nécessaire de garantir aussi la confidentialité pour éviter que les données soient lues par des systèmes ou des personnes non autorisées. Avec les infrastructures à clés publiques et les techniques de certificats, tous les composants techniques existent aujourd'hui pour garantir un bon niveau de sécurité. Cependant, le principal obstacle à la diffusion rapide de ces technologies est la mentalité « ligne Maginot » héritée des anciens systèmes propriétaires et symbolisée par la mise en place de pare-feux très coûteux et finalement assez peu efficaces. Les utilisateurs aussi n'ont pas encore acquis les réflexes « sécurité » nécessaires. Ils ferment leur voiture à clé alors qu'elle n'est accessible qu'à quelques milliers de personnes mais laissent leur PC ouvert sur Internet à des centaines de millions d'inconnus.

## 9. Les défis de demain

### 9.1. L'âge de l'information

L'augmentation régulière de la puissance des microprocesseurs, les progrès des développements du logiciel avec les techniques graphiques et orientées objets, la numérisation du son puis des images et les



techniques de compression des signaux, le déploiement des réseaux accéléré par les fibres optiques et les satellites dessinent les contours d'un nouveau paysage : la Société de l'information. Cette société sera construite autour de voies électroniques ou réseaux chargés d'acheminer dans les maisons, les entreprises, les universités, les administrations, les écoles ou les hôpitaux une palette de services interactifs : messagerie, visiophonie, téléenseignement, consultation de banques de données, téléachat, télévision à la demande, médecine assistée à distance... bouleversant de manière radicale la vie des gens et des entreprises.

Les nouvelles technologies de l'information représentent aussi un bouleversement culturel des modes d'éducation et de communication dont les héritiers sont les enfants d'aujourd'hui. Accéder à des informations par l'intermédiaire d'un écran et d'un clavier est pour la jeune génération une seconde nature alors que cette manipulation semble souvent difficile aux adultes. En matière d'éducation, les élèves utilisent de plus en plus souvent l'ordinateur comme un véritable assistant pédagogique qui leur permet de cultiver leurs connaissances à leur propre rythme dans toutes les disciplines.

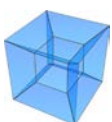
Avec le multimédia se prépare la remise en cause de la communication écrite telle que nous la concevons depuis Gutenberg. Le terme n'est pas si loin où les lecteurs devront apprendre à naviguer dans un monde d'images et de textes, le simple « clic » sur un mot ou une image permettant un accès quasi instantané à toute information stockée dans l'un des ordinateurs de la Planète. Enfin, le développement des réseaux du futur va changer le fonctionnement même de la société, modifiant par exemple l'organisation du travail, l'accès des citoyens aux services de santé ou d'éducation, les relations administration/administré, voire les conditions d'exercice de la démocratie.

L'histoire enseigne que le progrès se propage par vagues. Il est donc raisonnable d'affirmer que la société du XXIème siècle sera façonnée par les technologies de l'information. La large disponibilité d'ordinateurs à un nombre croissant d'utilisateurs augmentera la créativité qui sera génératrice de nouveaux progrès. Les ordinateurs actuels ne peuvent améliorer que des capacités mentales simples et relativement routinières mais un progrès continu est fait vers l'amélioration des capacités d'analyse et d'inférence. De même que les machines capables d'améliorer les capacités physiques de l'homme ont créé la révolution industrielle, de même les ordinateurs par leur faculté d'étendre les capacités mentales de l'homme, sont le moteur de l'actuelle et improprement nommée révolution informatique. L'Odyssée informatique vient tout juste de commencer.

## 9.2. Les défis selon le Gartner

En 2009 le Gartner identifiait 5 défis technologiques majeurs pour l'informatique de demain :

- Des terminaux mobiles qui ne doivent pas être rechargés : aujourd'hui, les outils de la mobilité et les matériels de communication sont tous alimentés par des batteries dont la durée d'autonomie est variable et en général relativement courte. Les utilisateurs de ces matériels souhaiteraient soit disposer de batteries qui soient capables d'être rechargés à distance où encore que leurs systèmes soient alimentés à distance. Après plus de 100 ans de recherche depuis l'invention de la bobine de Tesla à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, les progrès les plus significatifs ont été réalisés par le MIT en juillet 2007 dans l'expérimentation d'une alimentation dite « *transfer nonradiative* » (transfert d'énergie sans fil). Toutefois, les applications commerciales de ces technologies sont encore lointaines.
- La programmation parallèle : plutôt que de concevoir et de développer des monoprocesseurs de plus en plus performants pour accomplir des traitements en série, une autre voie consiste à réaliser des systèmes basés sur des ensembles de processeurs (c'est la voie que suivent les fournisseurs en proposant des processeurs multicœurs). Des activités telles que la simulation, la modélisation, les jeux et le data mining bénéficieront largement du mode de traitement parallèle. Toutefois, un des problèmes avec le traitement parallèle est de concevoir des applications qui tirent pleinement parti du parallélisme et des processeurs multicœurs. Pour cela, il faut diviser une tâche en nombreuses micro tâches élémentaires pouvant être traitées séparément par des dizaines, des centaines ou des milliers de processeurs.
- Interface homme/machine naturelle non tactile : pouvoir interagir avec une machine sans avoir à utiliser une interface qui fasse appel à une partie mécanique est un souhait de longue date. Mais de nombreux problèmes restent à résoudre pour y parvenir qui incluent la possibilité de détecter avec précision la gestuelle de l'utilisateur, à développer une sorte de dictionnaire des gestes et à disposer d'un traitement en temps réel. Un autre ensemble de défis touche au traitement du langage naturel qui inclut la synthèse et la reconnaissance de la parole, la compréhension et la génération du langage naturel, la traduction d'une langue dans une autre.

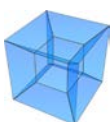




- Système de traduction automatisé : un des obstacles à surmonter dans le traitement des langages naturels conduit à la communication homme-machine dans un langage. La complexité augmente lorsqu'il y a nécessité de traduire et qu'un produit est nécessaire pour atteindre un langage compréhensible par l'homme. Des systèmes encore relativement basiques ont été créés pour réaliser des traductions de la parole, mono ou bidirectionnel
- Le stockage des informations sur le long terme : les technologies actuelles de stockage sont sous tension face au déluge d'informations créées chaque année. En 2009 en 15 minutes seulement, le monde produit une quantité d'information équivalente à celle de la bibliothèque du Congrès américain. Malheureusement, des données uniques sont fréquemment perdues. Par exemple, les données d'origine du recensement réalisé en 1960 et stockées sur un ordinateur Univac de l'époque. Quand le bureau du recensement a voulu transférer ces données aux Archives nationales américaines, les ordinateurs Univac étaient devenus obsolètes. La plus grande partie des données a pu être récupérée, mais à un coût très élevé. En revanche, les données des missions Viking vers Mars et des images haute définition de la Lune ont été définitivement perdues. L'archivage à long terme (100, 1000 ans ou plus) pose de nombreux problèmes liés au format des données, aux matériels de stockage, aux logiciels qui permettent leur traitement, aux métadonnées qui assurent la description des données, aux informations périphériques.

### 9.3. Les autres grandes tendances

- Moins de watts consommés : avec la double crise énergétique et environnementale, les constructeurs tentent d'améliorer encore le ratio énergie consommée / nombre de calculs réalisés. Il se propose d'intégrer la gestion de l'énergie directement au plus bas niveau possible : la carte mère. L'idée est de gérer automatiquement l'alimentation électrique des différents composants en fonction de leurs besoins pour pouvoir réduire la consommation. L'objectif ambitieux est de réaliser 50% d'économies sur la consommation électrique, même lorsque le PC est fortement sollicité.
- Les appliances : ces boîtiers tout en un existent depuis très longtemps. Mais Gartner estime qu'ils devraient avoir de plus en plus de succès car le système d'information des entreprises se complexifie tout en se standardisant. Leurs fonctions, assez indépendantes et matures pour être « matérialisées », le seront de plus en plus, comme le firewall. Les appliances devraient donc gagner en capacité à monter en charge en étant progressivement conçues pour être branchées les unes avec les autres.
- Business Intelligence : le décisionnel fait parti de cette liste de technologies clés depuis deux ans. Ce domaine reste une priorité pour les entreprises qui y voient le moyen d'améliorer leur compétitivité et de faire les bons choix stratégiques.
- Cloud Computing : cette architecture réduit les coûts (en les mutualisant) tout en proposant une meilleure capacité à monter en charge et une meilleure disponibilité. Cette infogérance moderne devrait donc séduire de plus en plus d'entreprises. Reste la question clé de la dépendance par rapport au prestataire hébergeur. En effet, aucune norme ou standard n'existe dans ce domaine.
- Green IT : l'informatique « verte » va progressivement devenir un sujet important à mesure que la pression juridique s'intensifie. Les fournisseurs vont tout aussi progressivement adapter leurs matériels (éco-conception, économies d'énergie, programmation intelligente). Les centres informatiques (datacenters) seront particulièrement visés dans un premier temps du fait des contraintes techniques inhérentes à leur consommation électrique très importante.
- Mashups : d'abord réservées aux pionniers du web 2.0, les applications composites investiront l'entreprise dès 2010. Gartner les assimile à une technologie de développement rapide (RAD). De quoi séduire les entreprises qui souhaitent accélérer leurs développements.
- Virtualisation : après les serveurs, la virtualisation devrait toucher le stockage des données et les postes de travail. Le stockage est le domaine de l'informatique qui progresse le plus vite en termes de volumes à gérer. La virtualisation facilite notamment la déduplication des informations redondante tout en présentant le disque virtuel comme un disque dur physique. De quoi réduire les coûts de stockage. La virtualisation du poste de travail intéresse aussi les entreprises car elle permet d'abaisser le coût total de possession (TCO, total cost of ownership). Mais, même si les technologies sont désormais matures, la résistance des utilisateurs devrait freiner les projets.
- Web-Oriented Architectures (WOA) : pour les analystes du Gartner, le web est un exemple parfait d'architecture orientée services (SOA, service oriented architecture). C'est pourquoi l'informatique



d'entreprise va s'en inspirer de plus en plus durant les cinq prochaines années. D'ailleurs le "cloud computing" en est un exemple concret

## 10. Références

---

- 1 [http://www.journaldunet.com/cc/02\\_equipement/equip\\_pc\\_mde.shtml](http://www.journaldunet.com/cc/02_equipement/equip_pc_mde.shtml)
- 2 [http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Babbage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage)
- 3 [http://fr.wikipedia.org/wiki/John\\_von\\_Neumann](http://fr.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann), [http://www.gap-system.org/~history/Mathematicians/Von\\_Neumann.html](http://www.gap-system.org/~history/Mathematicians/Von_Neumann.html)
- 4 Sylvain Tisserant, « Introduction aux Microcontrôleurs, Systèmes embarqués », ESIL, 2009
- 5 Gordon E. Moore, « Cramming more components onto integrated circuits », *Electronics*, Volume 38, Number 8, April 19, 1965
- 6 <http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/index.html>
- 7 Michel RIVAL, « Grandes inventions de l'humanité », Larousse
- 8 Catherine Dhérent, « La conservation du patrimoine culturel numérique », Bibliothèque nationale de France
- 9 Grynberg Gilbert, Aspect Alain, Fabre Claude, « Introduction aux lasers et à l'optique quantique », éditions Ellipses
- 10 <http://www.linternaute.com/histoire/>
- 11 J.W. Backus, « The Fortran Automatic Coding System, Programmer's Reference Manual », October 15, 1956
- 12 John Backus, « Can Programming Be Liberated from the von Neumann Style? A Functional Style and Its Algebra of Programs », IBM Research Laboratory, San Jose Communications of the ACM, August 1978, Volume 2, Number 8
- 13 Denis Sureau, « Histoire des langages de programmation et leur évolution », 2010

