

# Quelques notions sur l'architecture des ordinateurs

## §1 Petit historique

### Quelques références

[www.physique.usherb.ca/~afaribau/essai/essai.html](http://www.physique.usherb.ca/~afaribau/essai/essai.html)

[www.arithmometre.org/Biographie/PageBiographie.html](http://www.arithmometre.org/Biographie/PageBiographie.html)

[www.info.univ-angers.fr/pub/richer/ensI3\\_crs2.php](http://www.info.univ-angers.fr/pub/richer/ensI3_crs2.php)

<http://histoire.info.online.fr/>

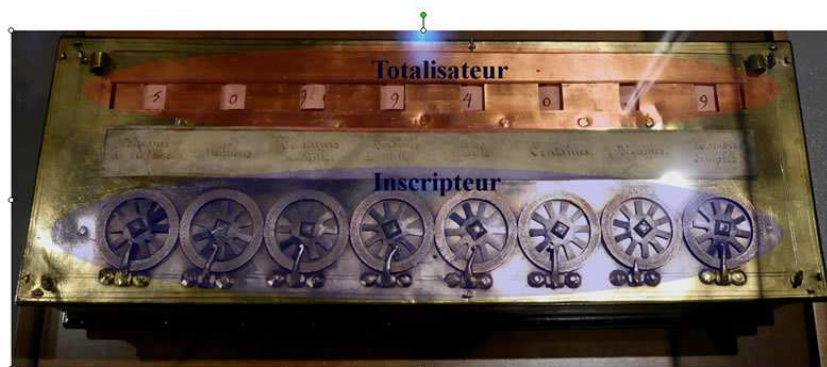
[www.geea.org/IMG/pdf/Cours\\_II.pdf](http://www.geea.org/IMG/pdf/Cours_II.pdf)

Les premiers calculateurs mécaniques ont pour vocation de faciliter et automatiser des tâches de calcul spécifiques. Les ancêtres bouliers, abaques, demandent une intervention humaine pour la gestion des retenues. D'où l'idée de mécaniser les calculs arithmétiques.

La première véritable machine à calculer est celle de Pascal (17<sup>e</sup> siècle) : il y a une véritable interface utilisateur comportant dans la partie externe de la machine un "inscripteur" permettant à l'utilisateur de rentrer les nombres à additionner ou à soustraire. Dans la partie interne, un mécanisme de roues permet de transmettre les données au "totalisateur". Un système de cliquets permet aux roues de bien se positionner et un système de sautoirs permet le report automatique des retenues. La machine de Pascal permet selon les graduations des roues de traiter le calcul décimal ou le calcul en unités monétaires (la motivation initiale de la machine).

## La Pascaline

### Le totalisateur et l'inscripteur



Musée Henri-Lecoq, Clermont-Ferrand

Le principe sera ensuite amélioré par Leibniz pour faciliter les multiplications.

## Gottfried Wilhelm Leibniz

1646-1716



Bibliothèque royale de Hanovre

D'autres calculateurs virent le jour au 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècle. La **machine de Thomas** ou arithmomètre fut la première machine utilisée quotidiennement dans les bureaux (banques, assurances, ...). Sa fiabilité, sa robustesse et sa simplicité en firent un succès durable. Apparaissent aussi les machines avec un clavier qwerty.

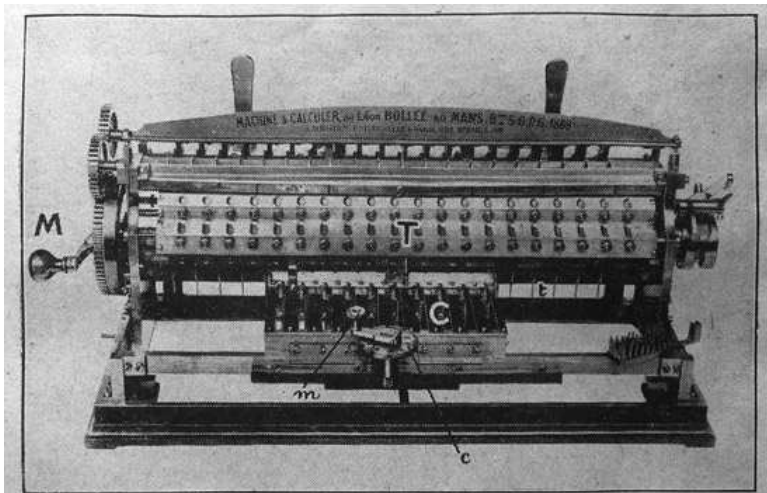
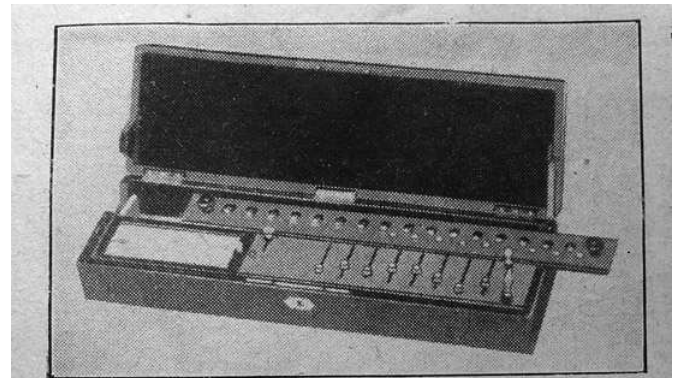


Photo Icare

FIG. 15. — LA MACHINE A MULTIPLIER DE LÉON BOLLÉE (1889)

T W 23030

Le multiplicande est inscrit par déplacement des boutons C; chacun d'eux entraîne avec lui une plaque calculatrice (du modèle de la fig. 16 et telle que celle visible à droite et en bas), le déplaçant dans le sens des colonnes de la table de Pythagore. Le chiffre du multiplicateur est inscrit par la manivelle m qui s'arrête devant un chiffre du cercle c. La rotation de cette manivelle entraîne le déplacement du calculateur sur son chariot, dans le sens des lignes de la table de Pythagore. Un tour complet de la manivelle m fait passer le chariot aux unités d'ordre supérieur. Le multiplicande et un chiffre du multiplicateur étant inscrits, le produit partiel est « lu » par le totalisateur grâce à des tiges verticales à crémaillères t contre lesquelles viennent s'appliquer les chevilles des plaques calculatrices. Un seul tour de la manivelle M suffit à faire entrer dans le totalisateur T le produit du multiplicande par un chiffre du multiplicateur.

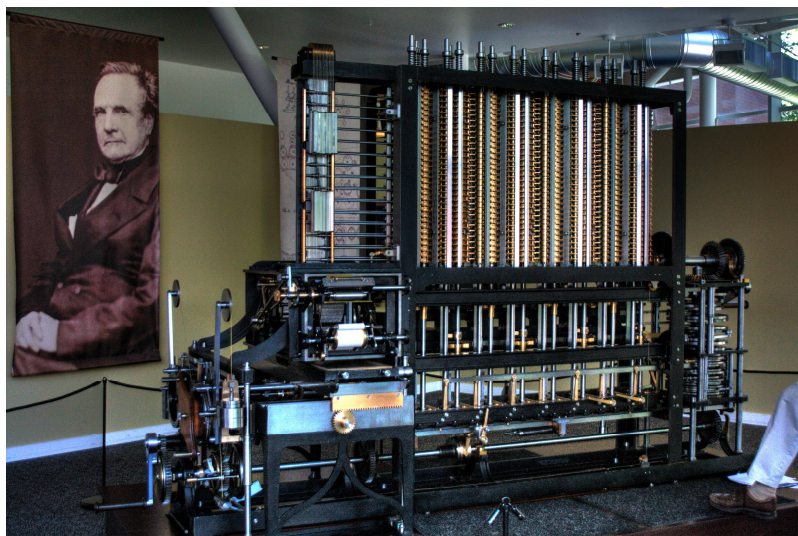


T W 23035

FIG. 11. — LA PREMIÈRE MACHINE A CALCULER CONSTRUITE INDUSTRIELLEMENT : LA MACHINE A MULTIPLIER DE THOMAS DE COLMAR (1820)

L'appareil comporte une partie fixe (au premier plan) et une platine mobile (au deuxième plan). Sur le couvercle de la partie fixe, on aperçoit un jeu de boutons qui se déplacent le long de graduations. Ils servent à inscrire les chiffres du multiplicande, et déplacent des pignons engrenant sur des tambours à dents inégales (fig. 10) placés sous le couvercle. Les pignons entraînent dans leur rotation le mécanisme totalisateur (situé sous la platine mobile). Le multiplicande étant formé et la platine étant complètement à gauche, un tour de manivelle ajoute au totalisateur la valeur du multiplicande. En déplaçant d'un pas, de deux pas... vers la droite la platine mobile, un tour de manivelle ajoute 10, 100 fois le multiplicande. L'exécution d'une multiplication comporte donc une série de déplacements de la platine, alternés avec des rotations de la manivelle d'autant de tours qu'il y a d'unités de divers ordres dans le multiplicateur. Le bouton situé à gauche de la partie fixe de l'appareil permet, en renversant la marche de la machine, d'effectuer des divisions.

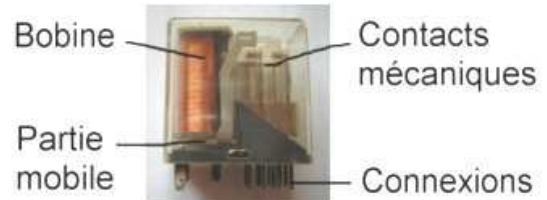
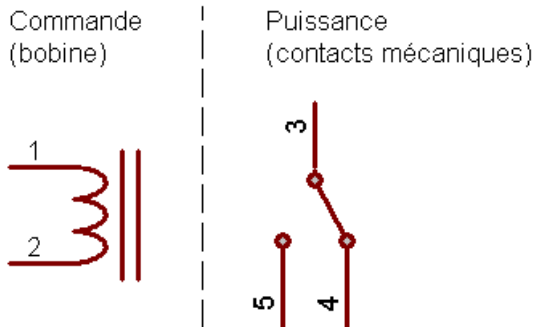
Avec la **machine de Charles Babbage** (1791-1871), machines à différences puis machine analytique, l'innovation vient de l'utilisation de cartes perforées (inspirées des techniques des métiers à tisser) qui permettent de programmer la machine (types d'opérations et données). On y trouve les prémisses de l'ordinateur moderne : unité de calcul, mémoire, registres de stockage et entrée des données par cartes perforées, possibilités de répéter un calcul (boucles) et de conditionner un calcul au résultat précédent (branchements). ;

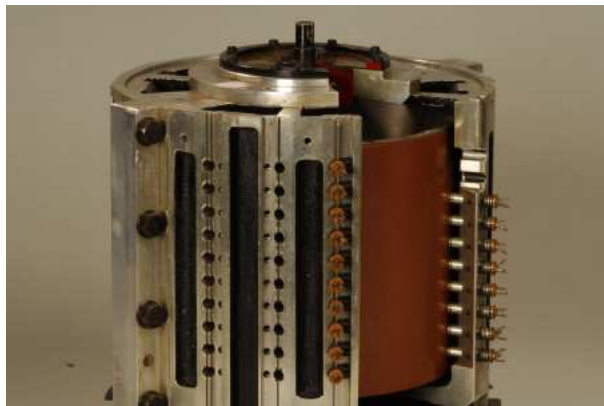




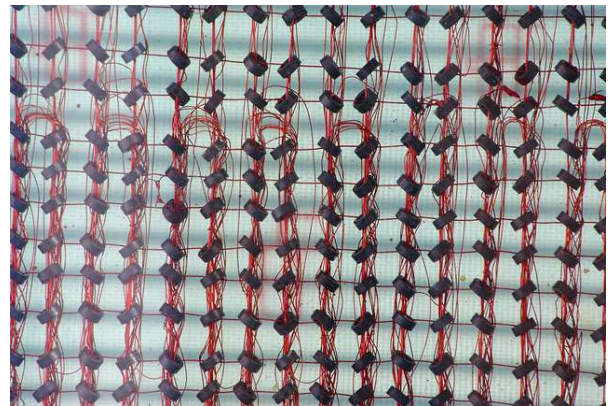
Il faudra attendre toute une série de progrès en physique pour que des versions électroniques des calculateurs voient le jour :

- relais électromécanique
- tube à vide (1904 pour la diode)
- transistor (1947)
- mémoire à tubes cathodiques, tambour de masse magnétique, puis mémoires à tores de ferrite.





tambour magnétique



mémoire à tores de ferrite

Le mot "ordinateur" a été inventé en 1956 (**computer** en anglais), le mot "informatique" a été inventé en 1962 (= **information** + **automatique**) (**computer science** en anglais).

Un ordinateur est un dispositif électronique destiné à automatiser les calculs et le traitement des données.

4 générations d'ordinateurs :

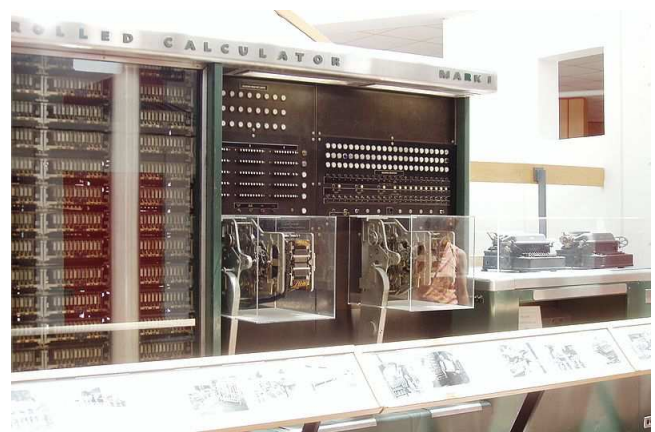
- première génération : tubes à vide (ordinateurs très volumineux, fragiles, coûteux, peu puissants)
- deuxième génération : transistors (miniaturisation, moins onéreux)
- troisième génération : circuits intégrés
- quatrième génération : microprocesseurs (premiers micro-ordinateurs)

La taille des composants diminuant et leur concentration augmentant, on produit des ordinateurs de plus en plus compacts et puissants.

## Quelques machines jalons

Un exemple de calculateur électromécanique : le **Mark 1** (H.Aiken années 40) : les relais électromécaniques permettent l'ouverture ou la fermeture d'un élément mécanique en fonction de l'état d'un courant, et de mémoriser une information binaire on/off.

Le programme est lu sur un ruban perforé; pas d'instruction de branchement; pas de composant électroniques. Une fois lancée, la machine n'a pas besoin d'intervention humaine. Les unités de calculs qui devaient être synchronisées étaient reliées mécaniquement par un axe de rotation de 15m. Machine lente mais fiable. Motivation : faciliter la résolution d'équations différentielles. Le **Mark4** était entièrement électronique avec des composants semi-conducteurs.



Le **Z1** allemand K.Suze (mécanique, binaire programmable 1938), **Z2** (1939) et **Z3** (machines électromécaniques à base de relais travaillant en virgule flottante binaire), début des années 40. Le Z3 peut effectuer tout algorithme (programmes enregistrés) et est donc la première machine universelle. Machine constituée de 2600 relais, d'une console pour l'opérateur et d'un lecteur de bande contenant les instructions à exécuter.



reconstitution du Z3

1941 machine **ABC**, premier ordinateur utilisant l'algèbre de Boole.

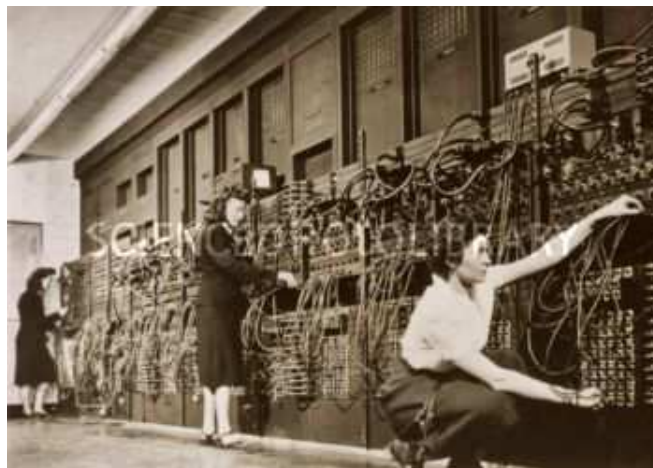
G.Stibitz (années 40) : série de machines **Model** (ci-contre) spécialisées dans les calculs sur les nombres complexes. Premier circuit binaire, en l'occurrence un additionneur. Machines non programmables.



Reproduction de la photo de la machine Model, présentée au Musée de l'histoire de l'ordinateur à Paris, France - 2014 et 2015. Photo de l'ordinateur Model, présentée au Musée de l'histoire de l'ordinateur à Paris, France - 2014 et 2015.

**Colossus** (Bletchley Park années 40) intègre l'arithmétique binaire, la notion d'horloge interne, de mémoire tampon, de lecteur de bandes, d'opérateurs booléens, de sous-programme et d'imprimantes.

1946 l'**ENIAC** : 19000 tubes à vide qui lui permettent d'être beaucoup plus rapide que les ordinateurs électromécaniques. La programmation s'effectue par recablage. Motivation : calculs balistiques.





Avec la deuxième génération d'ordinateurs, on voit apparaître des langages de programmation. Jusqu'alors, chaque machine avait son propre langage et la programmation se faisait directement en binaire. L'assembleur permet de faire l'intermédiaire entre le langage machine et la programmation évoluée. Le langage fortran (**formulas translation**), adapté au calcul scientifique, marque une étape clé dans l'évolution des langages.

Quelques langages :

Fortran (1956), Lisp et Algol (1958), cobol (1960), APL (1962), Basic (1964), Pascal (1968), C (1970)

De nombreuses compagnies se mettent à construire des ordinateurs.

**IBM 704** (1955) machine commerciale dotée d'un coprocesseur arithmétique. Début des super-ordinateurs destinés au calcul scientifique. Machine très fiable grâce aux mémoires à tores de ferrite. Le langage Fortran sera développé sur cette machine.



Magnetic Core  
Storage

Central  
Processing  
Unit

Magnetic Drum  
Operator's Console

Power Supply  
Printer  
Card Reader

Card Punch

Magnetic Tape Units

IBM 704 ELECTRONIC DATA-PROCESSING MACHINES

1951 premier ordinateur commercialisé pour des applications civiles.

1956 **tradic** premier ordinateur à transistors.

1958 premier super-ordinateur français (Bull)

1958 premier circuit intégré (Texas Instrument)

1959 **Atlas1** mémoire virtuelle et multi-tâche.

1963 logiciels graphiques interactifs, développement de l'imagerie informatique.

1967 premier lecteur de disquettes (IBM)

1965 **PDP8** premier mini-ordinateur

1968 premier ordinateur basé sur les circuits intégrés.

1968 première calculatrice programmable HP

Les ordinateurs de troisième génération ouvre la voie à la miniaturisation grâce aux circuits intégrés (loi de Moore 1965 : la complexité des circuits double tous les ans, le nombre de transistors sur une puce double tous les deux ans). En diminuant la taille des composants électroniques, on réduit l'encombrement tout en gardant la même architecture ou bien on améliore l'architecture pour augmenter les capacités de l'ordinateur. On voit aussi apparaître l'interaction homme-machine et les premiers systèmes d'exploitation qui tournent en permanence et gèrent l'exécution des autres programmes : Dos (IBM), Unix (1969) ...

Prémises de réseaux : commutation par paquets, systèmes d'exploitation adaptés (CTSS 1961), développement des normes pour assurer la compatibilité (système ASCII 1964), notion d'hypertexte (1965). Réseau ARPANET (1968).

Séries d'ordinateurs compatibles (IBM 360, 1964) (avant tous les ordinateurs étaient incompatibles entre eux).  
Systèmes de gestion de bases de données. L'informatique sort du cadre étroit du calcul scientifique pour investir le domaine du traitement automatique des données.

La quatrième génération d'ordinateurs est celle des micro-ordinateurs. L'informatique se démocratise notamment par le truchement des jeux (Atari, Commodore). C'est l'époque des Macintosh, des PC, des premières suites bureautiques, du démarrage d'internet.

1981 IBM Personal Computer

1981 suites bureautiques : Lotus IBM, word Microsoft

1981 expérimentation du minitel en France

1982 protocoles TCP IP

1982 MS/DOS 1.1 , CD (Sony, Phillips) , Postscript (langage de description de pages, prémisses de la PAO)

1983 Apple Lisa premier ordinateur à interface graphique commercialisé

1983 norme MIDI dans le domaine du son

1984 Le Macintosh d'Apple muni de son interface graphique. On le pilote entièrement à la souris.

1984 Microsoft présente windows

## **Conclusion**

Comme on le voit les ordinateurs tels que nous les connaissons aujourd'hui, sont le résultat d'un long processus de maturation, d'un foisonnement d'idées concernant l'architecture, la physique des composants, l'interface homme-machine, la nature du calcul ... Si les premiers calculateurs sont dédiés à des tâches spécifiques, souvent numériques, si les premiers ordinateurs ont souvent eu une vocation militaire, l'accélération des performances grâce à la miniaturisation, a démocratisé l'usage de l'ordinateur dont la vocation concerne maintenant le traitement automatique de l'information au sens large.

## §2 Quelques notions d'architecture des ordinateurs

### Références

[www.info.univ-angers.fr/pub/richer/ensI3\\_crs2.php](http://www.info.univ-angers.fr/pub/richer/ensI3_crs2.php)

### Aspects théoriques

Même si les premiers calculateurs ne prenaient en considération que les opérations arithmétiques de base sur les entiers, assez vite, il a fallu s'interroger sur la façon de calculer :

- nature des nombres : entiers, décimaux, réels ...
- représentation des nombres : développement décimal, binaire, nombres en virgule flottante
- méthodes de calcul

Que ce soit dans les machines mécaniques ou électroniques, la conception de l'unité de calcul a motivé le développement du calcul booléen (Shannon 1937). En assemblant correctement des transistors, on peut réaliser des portes logiques. En agencant ensuite correctement ces portes, on peut concevoir des circuits calculant n'importe quelle fonction booléenne :

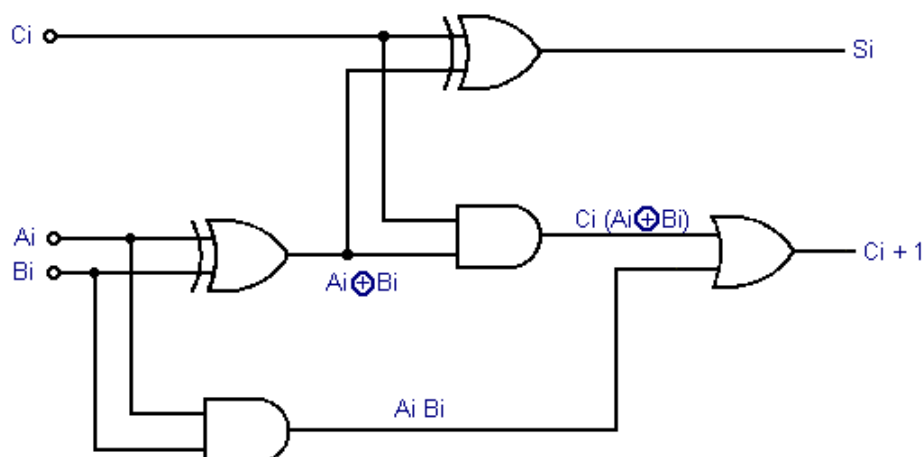
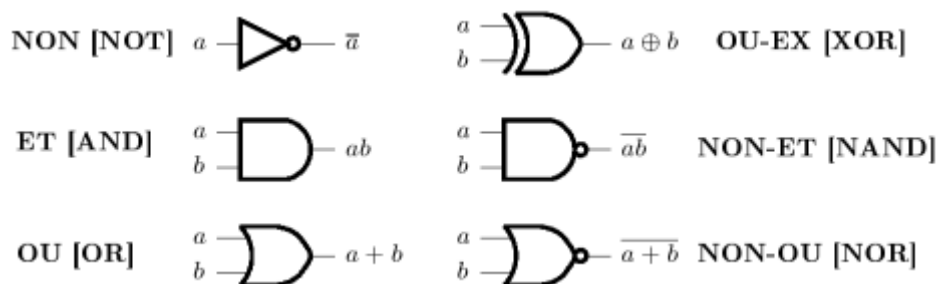
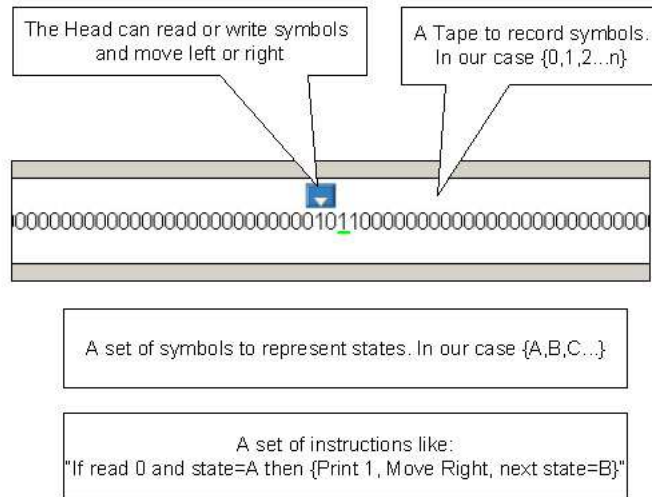


Fig. 7. - Exemple de schéma logique d'un additionneur complet.

Lorsque les machines sont devenues capables d'exécuter des instructions de branchements et des boucles, on s'est naturellement demandé ce qui pouvaient être calculé avec de telles machines. Au début du 20<sup>e</sup> siècle, de nombreux travaux ont porté sur la logique pour formaliser et automatiser les raisonnements.

Par des voies très différentes, Church et Turing sont parvenus à des formulations équivalentes de la notion de fonction calculable. Turing a défini la notion de "machine de Turing" qui lit un ruban, exécute une instruction en fonction de ce qui s'y trouve, inscrit un résultat sur le ruban et déplace le ruban soit vers la droite, soit vers la gauche :





L'intérêt de cette approche est de mimer de façon théorique ce qu'une machine pourrait faire dans la réalité.

Tout ce qui est calculable peut-être ainsi formalisé par une telle machine.

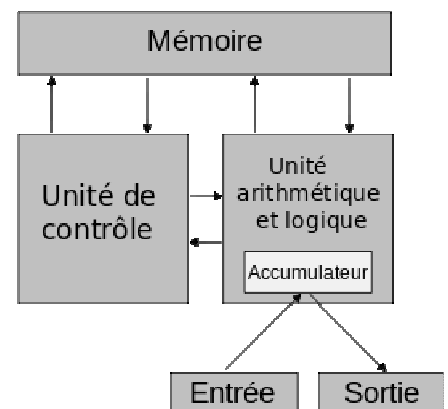
De plus, il existe des machines de Turing universelles, capables de lire les spécifications de n'importe quelle machine de Turing particulière et de la faire fonctionner avec une donnée d'entrée. Une telle machine universelle est un modèle d'ordinateur capable d'exécuter tout algorithme.

### L'architecture de Von Neumann

C'est un modèle d'architecture concrète, inspiré des machines de Turing universelles et proposé par Von Neumann en 1945.

Le dispositif est construit autour d'une unité centrale (CPU Central Processing Unit) qui gère les entrées et les sorties :

- Les données sont introduites via un périphérique : carte perforée, clavier, souris, capteurs ...
- Elles sont traitées dans l'unité centrale.
- Les résultats sont envoyés à un périphérique de sortie (écran, imprimante, ...).



L'unité centrale va chercher les instructions et les données en mémoire (données et instructions sont différenciées par un seul bit de contrôle).

L'unité centrale décode les instructions, les exécute, met les résultats en mémoire.

Elle est composée

- de la mémoire centrale qui mémorise le programme et les données le temps de l'exécution. Noter que dans l'architecture de Von Neumann, il y a une structure de stockage unique pour conserver les instructions et les données demandées ou produites par le calcul. Les cases mémoire sont repérées par leur adresse (entier en binaire codant un emplacement dans la mémoire) et contiennent une donnée également binaire.
- L'unité arithmétique et logique (UAL) : c'est le coeur de l'ordinateur qui se charge des calculs arithmétiques (+, -, × et /) et des opérations logiques (négation, ou, et). L'UAL comporte des mémoires temporaires spéciales appelées registres où sont stockés les résultats provisoires.
- L'unité de contrôle : assure le séquençage des opérations. Il réceptionne et décode les données entrées dans l'ordinateur, sollicite l'UAL, en veillant à ce que les instructions soient exécutées dans le bon ordre. L'unité de contrôle contient aussi des registres : des registres contenant les instructions en attente d'être exécutées, des registres

d'adresses des emplacements mémoire où sont stockés les instructions. Pour garantir la bonne synchronisation des opérations, l'UC est cadencée par une horloge interne, chaque opération étant attachée à un signal d'horloge. La vitesse de l'horloge se mesure en Mhz.

Aujourd'hui, ces différents composants sont intégrés dans le microprocesseur et ils dialoguent via des bus internes au microprocesseur.

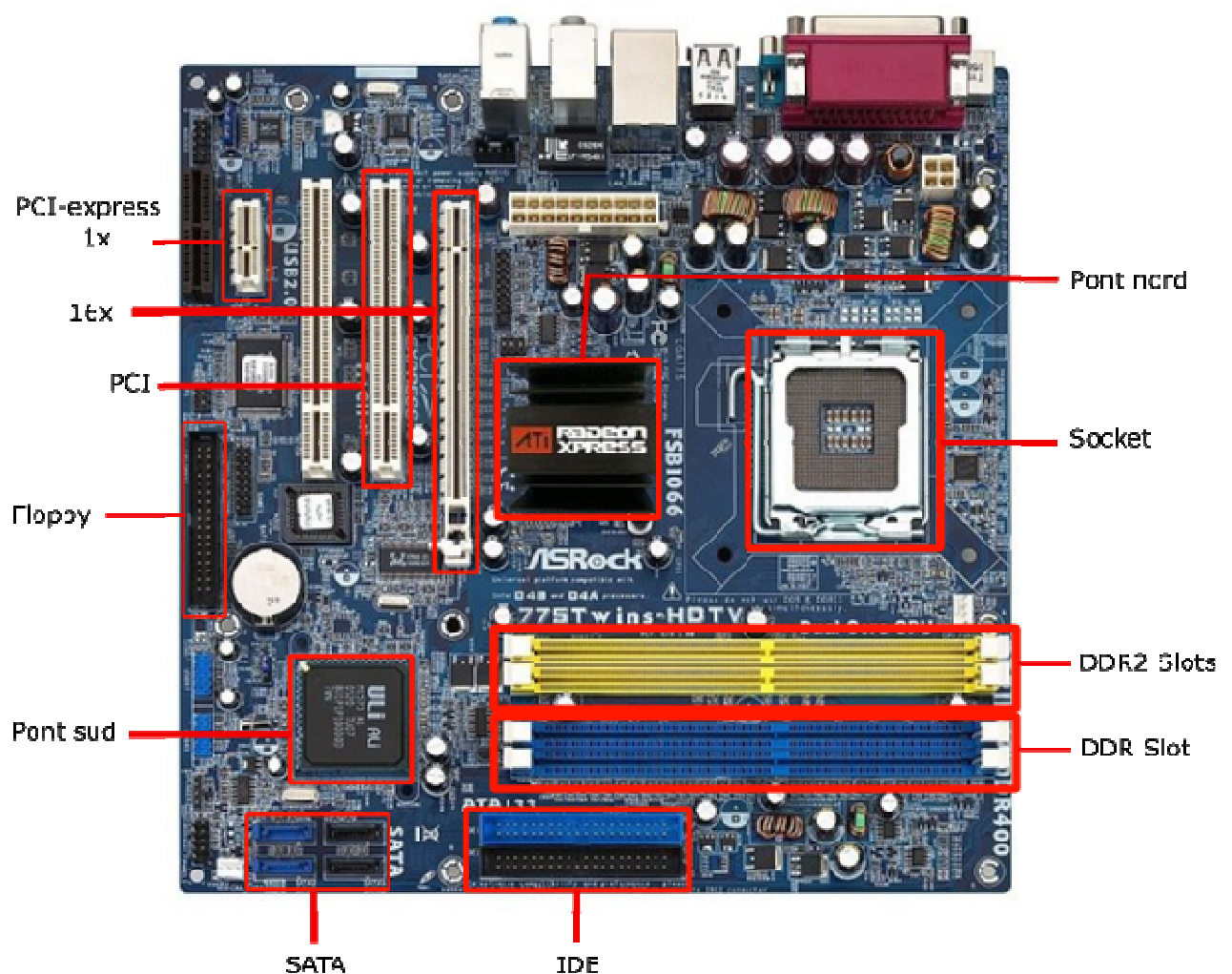
De même, il faut des bus pour que l'unité centrale puisse communiquer avec les périphériques d'entrée ou de sortie. Alors qu'avec l'ENIAC, la programmation devait se faire en modifiant à la main le câblage de l'ordinateur, dans l'architecture de Von Neumann en revanche, c'est l'unité de contrôle qui remplace l'opérateur manuel et cela est rendu possible car l'algorithme est lui même stocké sous forme binaire en mémoire. C'est l'algorithme qui dit à l'unité de contrôle ce qu'elle doit faire. Le programme peut notamment agir sur le registre contenant l'adresse de la prochaine instruction à exécuter. On peut ainsi automatiser les boucles.

Le travail du programmeur consiste désormais à traduire l'algorithme dans le langage de la machine.

Cette architecture, à peine améliorée par le rajout de mémoire cache pour accélérer le traitement, est toujours utilisée dans nos ordinateurs de bureaux !

### Réalisation matérielle : la carte mère

La carte mère met en contact physique les différents composants et périphériques. Elle établit la connexion entre les trois principaux éléments : processeur, mémoire, entrées/sorties cf schéma de l'architecture de von Neumann).



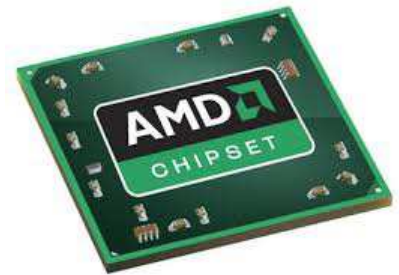
Sur la carte mère, on trouve :

- le **socket** : support pour le microprocesseur qui permet de le relier électriquement à la carte mère. Le nombre de pins (ou de trous selon les cas) sur le socket doit correspondre au microprocesseur.
- le **chipset** : c'est un circuit électronique qui contrôle et régule les échanges de données entre les divers composants de la carte mère. Il joue donc le rôle d'une unité de contrôle.

On distingue :

- le **pont nord** qui relie les composants ayant besoin d'une bande passante élevée : microprocesseur, mémoire vive RAM, carte graphique.
- le **pont sud** qui gère les périphériques qui ont besoin d'une faible bande passante (clavier, souris, audio, port parallèle, port série, périphériques USB, réseau, disque dur, ... ).

chipset et carte mère déterminent la vitesse des bus, le type de processeur et la fréquence qu'on peut utiliser, le type de mémoire qu'on peut utiliser ainsi que la quantité de mémoire, les périphériques qu'on peut connecter.

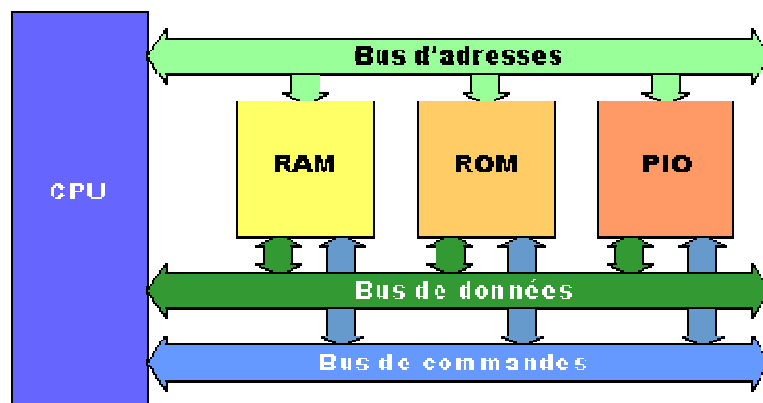


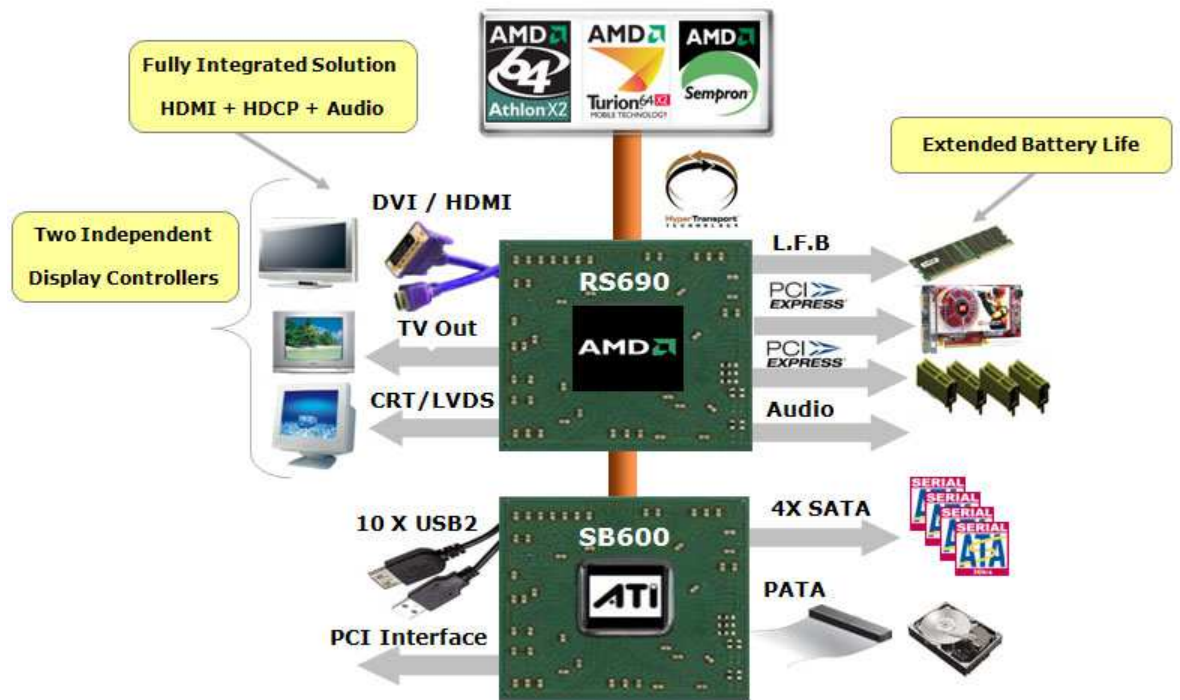
- Les **bus** : un bus est constitué de fils parallèles qui permettent la transmission des adresses, des données, des signaux de contrôle. Un bus transmet le même type d'information.
  - Bus d'adresses (unidirectionnel) : véhicule les adresses. Si le bus comporte  $n$  lignes (sa largeur), on peut adresser  $2^n$  cases mémoire. Par exemple, un bus 32 bits permet d'adresser 4 Go de mémoire.
  - Bus de données (bidirectionnel) : assure l'échange d'informations entre le CPU et les différents composants. Le nombre de lignes du bus dépend des capacités de traitement du microprocesseur.
  - Bus de commande : assure la synchronisation des opérations. Il spécifie par exemple si on effectue une lecture ou une écriture. Ce bus est caractérisé par son type (parallèle ou série), sa largeur (nombre de bits transférés simultanément), sa fréquence (vitesse de transfert).

$$\text{bande passante} = \text{fréquence} * \text{largeur en Mo/s}$$

Par exemple, avec une largeur de 32 bits = 4 octets et une fréquence de 33 Mhz, on obtient une bande passante de 132 Mo/s (bande passante des premiers bus PCI).

Plus la bande passante est importante, plus le bus est performant.

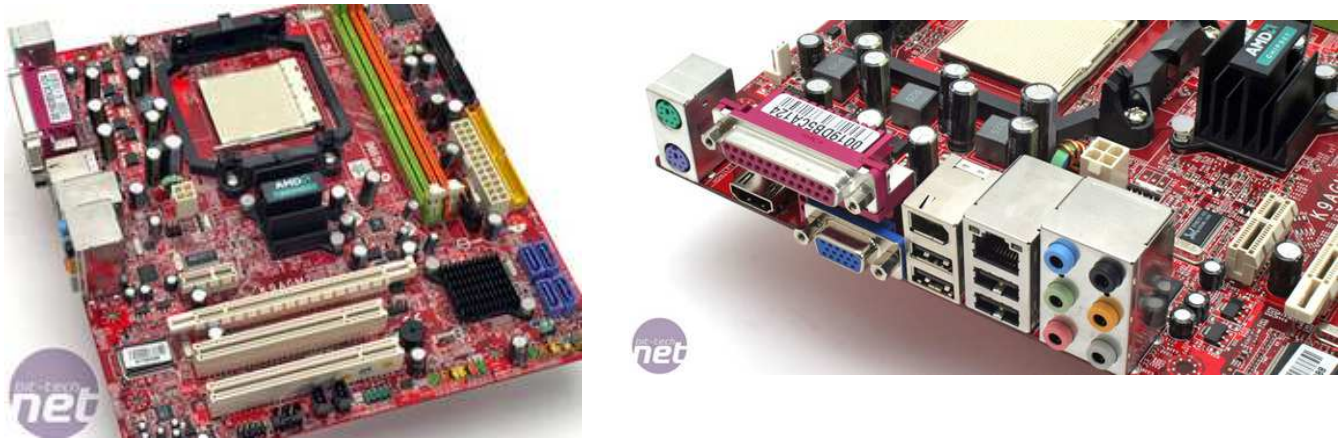




Exemples de bus :

- bus FSB sur le pont nord relie le pont nord au processeur.
- bus mémoire relie le pont nord à la mémoire.
- bus PCI (peripheral component interconnect) (Intel 1991).
- bus AGP (accelerated graphic port) pour cartes graphiques 3D qui exigent beaucoup de bande passante. Permet de libérer le bus PCI du transfert des données graphiques.
- bus PCI express : vise à remplacer les bus PCI et AGP.
- Bus USB (universal serial bus) 1996 destiné à remplacer les différentes connexions bas débit (bus série/parallèle). Supporte le mode Hot Plug and Play (on peut brancher/débrancher même si l'ordinateur fonctionne).
  - USB 1 : bande passante 1,5 Mo/s, permet de connecter jusqu'à 127 périphériques
  - USB2 (2001) : 60 Mo/s permet une interface USB sur d'autres types de périphériques (disque externes, graveurs, scanner ... )
  - USB3 (2010) : 600 Mo/s
- Interface IDE ou PATA (integrated device electronic) : permet de connecter des périphériques internes (disque dur, lecteur/graveur DVD).
- Interface SATA : remplace l'interface IDE : vitesse accrue, connectique simplifiée, câble plus long.
- bus Firewire (IEEE 1394) (Apple) : bus à haut débit (périphériques multimédia).
- une carte réseau permet de transformer le flux d'information qui circule en parallèle sur le bus de données en un flux série (les bits d'informations sont envoyés un par un). La communication avec l'extérieur se fait par un câble réseau via le port RJ45.
- Wifi (wireless fidelity), bluetooth pour la communication sans fil en réseau local.





une carte mère msi pour processeur AMD et ses ports de sortie

Le **BIOS** (basic input output service) est un programme stocké dans une mémoire morte (EEPROM) qui gère le matériel et fait l'interface entre le système d'exploitation et le matériel. Au démarrage de l'ordinateur, il détecte et teste les différents composants de l'ordinateur. On peut accéder au BIOS et en modifier certains paramètres. On peut aussi mettre le BIOS à jour.

### La mémoire

mémoire = circuit semi-conducteur capable d'enregistrer, conserver, restituer des données (instructions, variables)

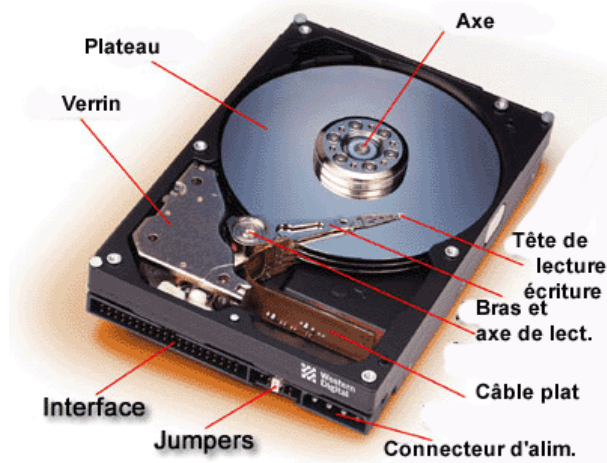
La mémoire est caractérisée par sa capacité, son format de données (nombre de bits par case mémoire), le temps d'accès, le temps de cycle, débit (nombre d'informations lues ou écrites/s), sa volatilité.

On distingue donc la mémoire volatile (RAM), c.a.d que le contenu de la mémoire disparaît lorsqu'elle n'est plus alimentée électriquement et la mémoire permanente (ROM). Dans une mémoire RAM (Random Access Memory), on peut accéder à la demande à n'importe quel emplacement de la mémoire, grâce à son adresse et ce en temps constant (indépendant de l'adresse). On distingue RAM dynamique qui nécessite en permanence un rafraîchissement à cause de la décharge des condensateurs, par opposition à la RAM statique qui ne nécessite aucun rafraîchissement. Parmi les mémoires permanentes, certaines ne peuvent être affectées qu'une seule fois, alors que pour d'autres, on peut modifier leur valeur.

La capacité se mesure en ko (kilo octets  $10^3$  octets), Mo (mégaoctets), Go (gigaoctets), To (téraoctets)

Les mémoires rapides sont chères et consomment beaucoup d'électricité. Elles sont donc au plus près de l'unité centrale : registres, mémoire cache, mémoire centrale. Au contraire, les mémoires de grande capacité sont peu chères mais beaucoup moins rapides. Elles sont plus éloignées de l'unité centrale; c'est le cas du disque dur.

Le disque dur est composé d'un plateau magnétique qui tourne et d'un petit bras qui se déplace à leur surface pour lire/écrire les informations. C'est la lenteur du déplacement du bras qui explique la lenteur de l'accès au disque dur. Pour la même raison, il est plus rapide de stocker un seul gros fichier plutôt qu'une grande quantité de petits fichiers. Plus récents, les SSD (solid state disk) sont composés de milliards de cellules (mémoire flash). L'accès est beaucoup plus rapide et ils sont plus fiables. Ce sont des mémoires beaucoup plus coûteuses. On la réserve pour y stocker les programmes, notamment le système d'exploitation.



disque dur



SSD

## Performances

Elles dépendent de la fréquence d'horloge, de la bande passante, de la taille des registres, du jeu d'instructions disponibles dans le microprocesseur, ...

On mesure la performance par

- le nombre d'opérations arithmétiques par seconde MIPS =  $FH/CPI$  où CPI = nombre moyen de cycles d'horloge par instruction et FH = fréquence d'horloge.
- le nombre d'opérations flottantes par seconde, mesuré en FLOPS (floating point operations per second). Les opérations flottantes sont plus coûteuses en temps de calcul et en occupation mémoire que les opérations arithmétiques. Elles sollicitent bien davantage le processeur. Ce deuxième indicateur est plus approprié pour les problèmes numériques où on doit travailler avec des nombres réels.

Le site [www.top500.org](http://www.top500.org) publie la liste (mise à jour) des 500 ordinateurs les plus puissants de la planète. De tels ordinateurs sont nécessaires dans le domaine de la défense, de la simulation, de la prévision (météorologie, recherche pétrolière), de la bioinformatique ...

Actuellement (2014), c'est l'ordinateur chinois Tianhe2 qui est en tête avec 33 petaflops ( $33 \times 10^{15}$  flops).

L'ordinateur français le plus puissant appartient à la société Total (2 petaflops, 16-ième rang mondial).

Un ordinateur de bureau a une puissance de quelques dizaines de gigaflops, soit la puissance de calcul des meilleurs ordinateurs d'il y a 30 ans (le Cray2 franchit la barre du gigaflops en 1985).

Pour améliorer les performances, on peut :

- augmenter la fréquence de l'horloge, exécuter plusieurs calculs par cycle d'horloge.
- augmenter la taille des registres (windows32 vs window64)
- utiliser de la mémoire cache pour accélérer certains calculs. )
- meilleure finesse de gravure pour fabriquer les processeurs (actuellement, on grave à 20 nm).
- utiliser une architecture pipeline : avant qu'une instruction ne soit entièrement traitée, l'instruction suivante a déjà été injectée dans le pipeline. Cela accélère là aussi le traitement.
- augmenter le nombre de coeurs dans le processeur.
- ...



super-ordinateur Pangea de Total

Le principe d'un super-ordinateur est de faire travailler ensemble un grand nombre de processeurs. Le fonctionnement est donc parallèle par opposition à un traitement séquentiel où les instructions sont effectuées les unes après les autres. On parle aussi d'architecture vectorielle car les calculs sur les vecteurs et les matrices se prêtent bien au parallélisme. Les premiers ordinateurs vectoriels furent les Cray. Le Cray2 (1985) avait une puissance d'environ 1 Gflops, moins que la puissance d'un ordinateur de bureau actuel. Le Pangea de Total équivaut à 27000 PC actuels ...

Une alternative aux super-ordinateurs est de faire travailler ensemble un grand nombre d'ordinateurs personnels. C'est l'informatique distribuée dont le projet [SETI@home](#) en est un exemple : les données recueillies par les radiotélescopes sont analysées par une myriades d'ordinateurs particuliers (sur leur temps d'inactivité) après segmentation des calculs à effectuer.

Dans les ordinateurs personnels actuels, vu qu'on a atteint les limites en terme de fréquences d'horloge et de finesse de gravure (problèmes de surchauffe et d'effets quantiques), on regroupe plusieurs coeurs pour gagner en puissance de calcul.

Les data centers des grands groupes de l'internet, sont conçus aussi comme des super-ordinateurs sauf que le but recherché n'est pas tant la puissance de calcul elle-même que le fonctionnement en mode serveur (stockage de données, serveurs de base de données, régulation du trafic internet, ... ).

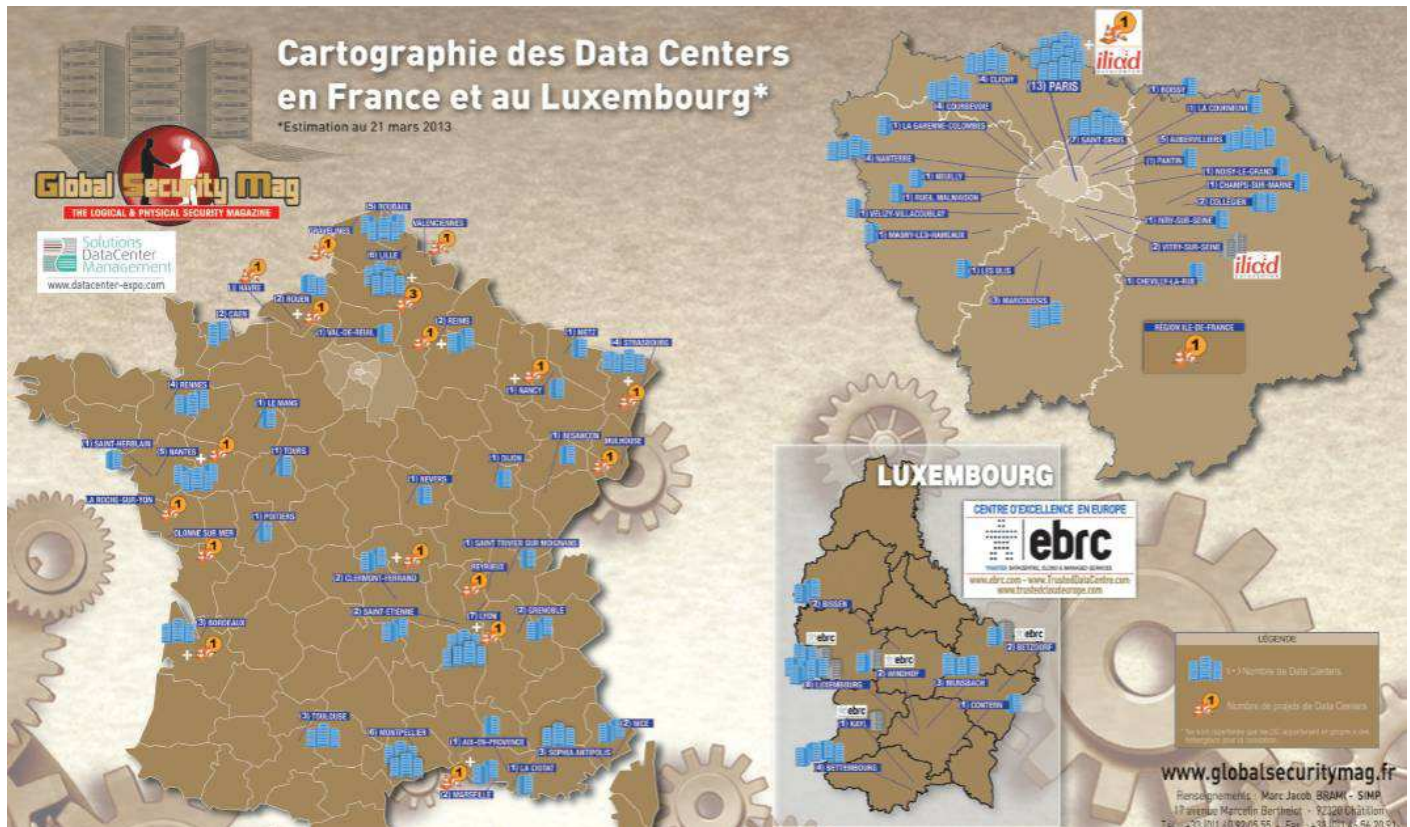
Le problème de la consommation électrique et surtout du refroidissement est commun aux ordinateurs personnels comme aux datacenters (ces derniers étant obligés de fonctionner 24 heures sur 24). On estime la consommation des data center à environ 2% de la production électrique mondiale et certaines études avancent que l'économie numérique consommerait jusqu'à 10% de l'électricité mondiale.

Un data center consomme autant qu'une ville de plusieurs milliers d'habitants : un datacenter = 20 MW = puissance consommée par une ville de 20000 habitants. Le Pangea de Total nécessite une puissance de 2,8 MW pour le faire fonctionner.

Pour un ordinateur personnel, on rajoute un ventilateur sur la carte mère pour évacuer l'excédent de chaleur.

Pour les super-ordinateurs et les data center, les bâtiments ont besoin d'être réfrigérés. La chaleur évacuée commence à être récupérée pour le chauffage des bâtiments.





## Systèmes d'exploitation

Un système d'exploitation est un programme qui ajoute des facilités pour interagir avec l'ordinateur. Cela permet au programmeur comme à l'utilisateur de réaliser facilement des tâches qui seraient complexes à réaliser directement au niveau de la machine. Le programmeur peut ainsi se concentrer sur les aspects conceptuels, logiques de ses applications qui profitent des services du systèmes d'exploitation. Le système d'exploitation empêche toute manipulation dangereuse pour l'ordinateur tout en permettant facilement les réglages, l'installation de nouveaux programmes, la gestion des autorisations et la gestion du matériel et des périphériques. Le système d'exploitation gère donc à la fois les aspects matériels et l'accès des utilisateurs aux ressources de la machine en évitant les conflits et en contrôlant les erreurs éventuelles.

Le système d'exploitation tourne en permanence. On peut l'utiliser en ligne de commande ou bien via une interface graphique.

Le système d'exploitation permet aussi de gérer les fichiers, donc les entrées-sorties : lire, écrire, créer des fichiers. Ils sont gérés au sein d'un système de fichiers et de répertoires, sous forme d'arborescence avec nommage des fichiers.

Principaux systèmes d'exploitation :

- windows décliné en version PC, serveurs etc ... Dernière version windows 10
- Mac OS
- Linux
- Unix et dérivés