

Bibliographie :

- "Manuel d'informatique et sciences du numérique (ISN) , Option ISN pour les lycéens." Jean-Pierre Archambault (Auteur), Gilles Dowek (Auteur), Emmanuel Baccelli (Auteur). 2012. Editions Eyrolles.
- "Apprenez à monter votre ordinateur". CyberS@m et Matthieu Bonan (ShigeruM). www.siteduzero.com
- www.wikipedia.org. Mots clés: Mémoire (informatique), architecture de Von Neumann, mémoire vive, système d'exploitation, etc.

Table des matières

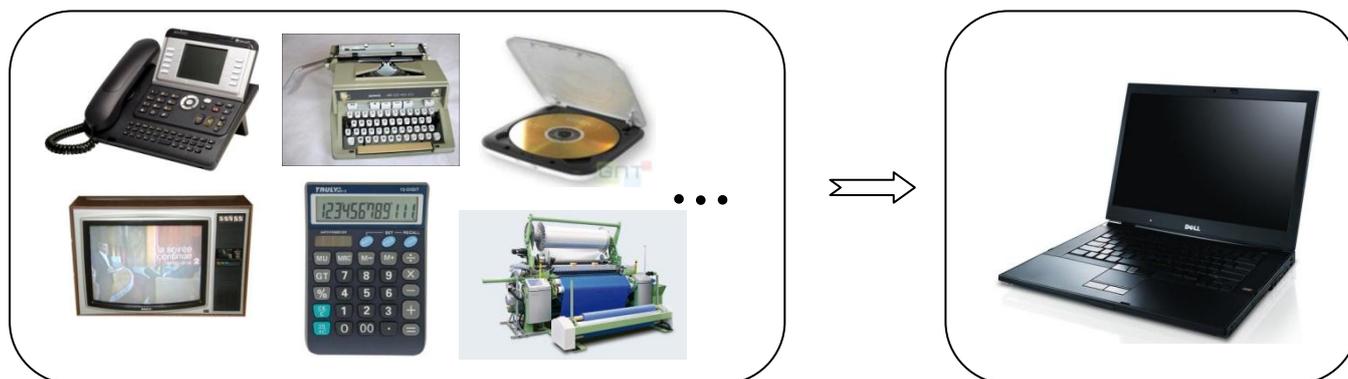
I.	MISE EN PERSPECTIVE HISTORIQUE	1
1.1	LES ORDINATEURS, MACHINES UNIVERSELLES	1
1.2	TRAITEMENT UNIVERSEL DE L'INFORMATION	2
II.	FONCTIONNEMENT D'UN ORDINATEUR.....	2
2.1	PRESENTATION GENERALE D'UN ORDINATEUR: ARCHITECTURE DE VON NEUMANN	2
2.2	LA MEMOIRE	3
2.3	LE PROCESSEUR ET L'HORLOGE	3
2.4	VENTILATEUR ET RADIATEUR	4
2.5	LA CARTE MERE.....	6
2.6	LES PERIPHERIQUES.....	9
2.7	LE BIOS	9
2.8	LE SYSTEME D'EXPLOITATION	9

I. Mise en perspective historique**1.1 Les ordinateurs, machines universelles**

En quelques dizaines d'années, le déploiement de quelques milliards de machines informatiques : ordinateurs, réseaux, robots, mais aussi téléphones, télévisions, baladeurs, appareils photos, etc., a changé la manière dont nous concevons et fabriquons des objets, faisons de la science, accédons à la connaissance, organisons les entreprises, administrons les états, échangeons des informations entre individus, créons et diffusons des œuvres d'art, gardons trace de notre passé, etc.

Ces différentes révolutions se sont produites simultanément, en grande partie parce que c'est le même objet, l'ordinateur, qui en est à l'origine. C'est en effet ce même objet qui permet d'utiliser des logiciels de conception assistés par ordinateur, des machines à commande numérique, des logiciels de modélisation et de simulation, des encyclopédies et des cours en ligne, des bases de données, des blogs, des forums, des logiciels de courrier électronique, des tables de mixage numériques, des logiciels d'échange de fichiers, des archives numériques, etc.

La simultanéité de ces révolutions s'explique donc, essentiellement, par **la polyvalence des ordinateurs**. Les ordinateurs sont des machines qui permettent de traiter des informations de manières très diverses. Ils permettent de traiter des données numériques de manière virtuelle dans la mémoire de la machine, ou traduire des commandes numériques en actions concrètes agissant sur le monde extérieur : écriture sur une imprimante ou sur un moniteur, contrôle d'un flux vidéo issue d'une caméra, contrôle de l'accélération ou du freinage d'un véhicule, contrôle du changement de température d'un four etc.... Cette polyvalence s'illustre aussi par le nombre d'outils que les ordinateurs ont remplacé : machines à écrire, téléphones, machines à calculer, télévisions, appareils photos, électrophones, métiers à tisser, etc.



Les ordinateurs sont en fait, non seulement des **machines polyvalentes**, mais aussi des **machines universelles**. Ils sont non seulement capables de traiter des informations de manières diverses, mais également de toutes les manières possibles.

1.2 Traitement universel de l'information

Traiter des informations signifie appliquer, d'une manière systématique, des opérations à des symboles. La recherche d'un mot dans un dictionnaire, le chiffrement et le déchiffrement d'un message secret, l'addition et la multiplication de deux nombres, le calcul de l'aire d'une parcelle agricole, le compte des points des levées d'un joueur au Tarot, la fabrication des emplois du temps des élèves d'un lycée ou des pilotes d'une compagnie aérienne sont des exemples de traitements d'informations.

Un procédé systématique qui permet de traiter des informations s'appelle un **algorithme**. Ainsi, on peut parler d'algorithmes de recherche d'un mot dans un dictionnaire, d'algorithmes de chiffrement et de déchiffrement, d'algorithmes de l'addition et de la multiplication, etc.

Bien entendu, nous n'avons pas attendu le milieu du XXe siècle pour concevoir des algorithmes. **Il y a quatre mille ans, les scribes et les arpenteurs, en Mésopotamie et en Égypte, connaissaient déjà des algorithmes** pour effectuer des opérations comptables et des calculs d'aires de parcelles agricoles. La conception d'algorithmes semble remonter aux origines mêmes de l'écriture. Dès que nous avons su écrire des symboles, nous avons imaginé des algorithmes pour les transformer.

À partir du milieu du XXe siècle, toutefois, nous avons cessé d'utiliser exclusivement ces algorithmes à la main, c'est-à-dire d'effectuer nous-mêmes ces opérations, pour les faire exécuter par des machines : **les ordinateurs**. Cela a demandé de formuler ces algorithmes dans des langages accessibles aux ordinateurs : **les langages de programmation**. Les langages de programmation sont très différents des langues humaines : celles-ci permettent la communication entre des êtres humains, ceux-là **permettent la communication entre des êtres humains et des machines**. **L'informatique est donc née de la rencontre de quatre concepts très anciens : information, algorithme, machine et langage**. Ces concepts existaient tous avant la naissance de l'informatique, mais l'informatique les a complètement renouvelés et les a articulés en une science cohérente.

II. Fonctionnement d'un ordinateur

Dans cette partie, nous allons décrire tous les composants qui constituent un ordinateur. Nous commencerons par le processeur qui constitue le cerveau de l'ordinateur associé à un radiateur et un ventilateur. Nous décriront le fonctionnement de la carte mère ainsi que les mémoires associées.

2.1 Présentation générale d'un ordinateur: architecture de Von Neumann

Un ordinateur est principalement composé de deux grands circuits :

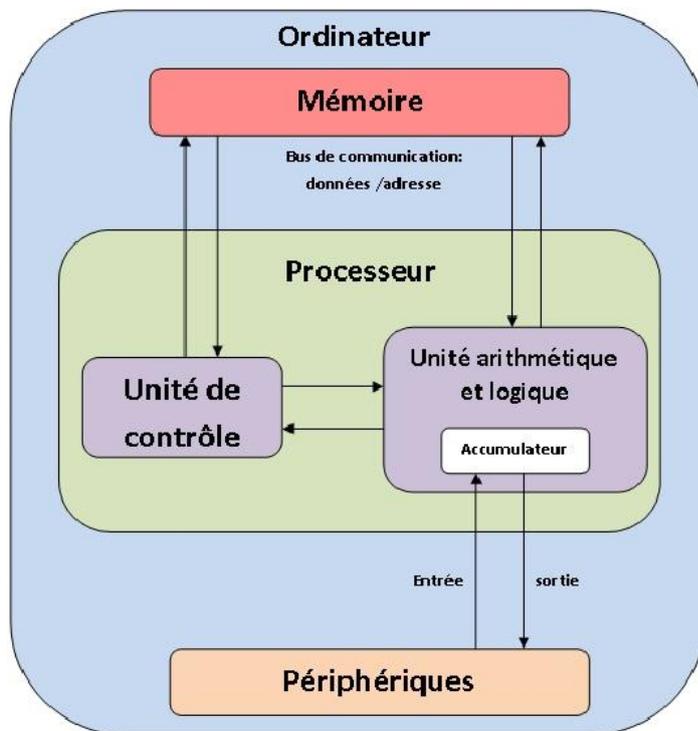
- le processeur
- et la mémoire.

Ces deux circuits sont reliés entre eux par des fils qui constituent un ou plusieurs bus de communication, parmi lesquels :

- un bus de données
- et un bus d'adresses.

Le processeur est composé de deux unités :

- **L'unité de contrôle** qui lit en mémoire un programme et donne à l'unité de calcul la séquence des instructions à effectuer.
- **L'unité de calcul** qui réalise les instructions à effectuer. Elle possède une mémoire interne dont l'accès est très rapide, appelé accumulateur ou registre.



Le processeur dispose par ailleurs de **bus d'entrées et de sorties** permettant d'accéder aux autres parties de l'ordinateur, que l'on nomme les **périphériques**. Cette organisation générale représente **l'architecture de Von Neumann**. Elle est étonnamment stable depuis les années quarante.

2.2 La mémoire

En informatique la mémoire est un dispositif électrotechnique qui sert à **stocker des informations**. Généralement, la mémoire informatique est fabriquée à partir de transistors (constitués eux-mêmes de matériaux semi-conducteurs) dont une association complexe permet de mémoriser **deux états: 0 ou 1** qui constituent l'information numérique élémentaire appelé "**bit**".

Les différents types de mémoires

Il existe plusieurs types de mémoire numérique qui diffèrent en fonction de leur utilisation. Nous pouvons citer entre autre:

- **La mémoire morte** appelée encore **ROM** (Read Only Memory). Elle ne peut pas être effacée ou modifiée. Elle est généralement utilisée lors du démarrage de l'ordinateur par le BIOS, dans une phase très importante qui consiste en l'initialisation de tous les composants matériels : disque dur, carte graphique, carte son, etc. Avant leur étape d'initialisation, il est impossible d'utiliser ces éléments. Une fois les étapes d'initialisation du matériel achevées, le BIOS va avoir pour rôle de chercher une séquence d'amorçage afin de lancer le système d'exploitation (Windows par exemple).
- **La mémoire vive** appelée aussi RAM (Random Access Memory), désigne une mémoire où chaque information stockée peut en tout temps être consultée, ou modifiée de façon rapide, mais dont le contenu disparaît dès la mise hors tension de l'ordinateur. Elle est utilisée par le processeur pour ses calculs.
- **La mémoire de masse** ou mémoire de stockage qui sert à stocker à long terme des grandes quantités d'informations comme les fichiers systèmes, les documents, les photos, les musiques, etc. Les technologies les plus courantes des mémoires de masse sont les **disques durs internes ou externes** et ont généralement une vitesse inférieure aux autres mémoires.
- **La mémoire cache** sert à conserver un court instant des informations fréquemment consultées dans les disques durs. Les technologies des mémoires caches visent à accélérer la vitesse des opérations de consultation. Elles ont une très grande vitesse, et un coût élevé pour une faible capacité de stockage.
- **Les registres de processeur** qui est intégrée au processeur. Ce type de mémoire est très rapide mais aussi très cher et est donc réservé à une très faible quantité de données. Les registres servent à l'unité arithmétique et logique du processeur pour effectuer les différentes opérations.

Dans ce chapitre nous considéreront plus particulièrement de la **mémoire vive** qui constitue l'endroit où sont stockées les données traitées ou à traiter. Elle détermine de façon déterminante les performances en terme de rapidité de calcul du processeur, en effet, sa rapidité d'accès, est essentielle pour fournir rapidement les données au processeur. En revanche il s'agit d'une mémoire volatile, qui implique que toutes les données de cette mémoire sont perdues dès que l'ordinateur cesse d'être alimenté en électricité.

Adressage et architecture de la mémoire

De manière générale, la mémoire est composée de plusieurs milliards de circuits mémoires "**un bit**". Ces circuits sont organisés en agrégats de huit, seize, trente-deux, soixante-quatre bits, et parfois davantage, que l'on appelle des **cases mémoires**, et qui peuvent donc mémoriser des mots de huit, seize, trente-deux, soixante-quatre bits, etc. Le nombre de case mémoire définit la taille totale de la mémoire de l'ordinateur.

Exemple: Une mémoire de 4 Go (giga octet) représente un nombre N de circuits mémoire un bit égale à :

$$N = 4 \times (2^{30} \times 8) = 34\ 359\ 738\ 368 \text{ bit.}$$

Si la mémoire est organisée en mots de soixante-quatre bits, ces circuits sont répartis en 536 870 912 cases mémoires permettant de mémoriser un mot chacune.

Afin que chaque case soit distinguable, on attribue à chacune un numéro : **son adresse**. Ainsi, pour manipuler une donnée en mémoire, il suffit de donner au processeur son adresse. Il va ensuite lire le contenu des cases mémoires correspondantes et le manipuler.

Manipulation de la mémoire

La mémoire contient des données utilisées pour réaliser des calculs. La manière dont les calculs sont effectués constitue le programme qui est décrit sous la forme d'un ensemble d'instructions.

2.3 Le processeur et l'horloge

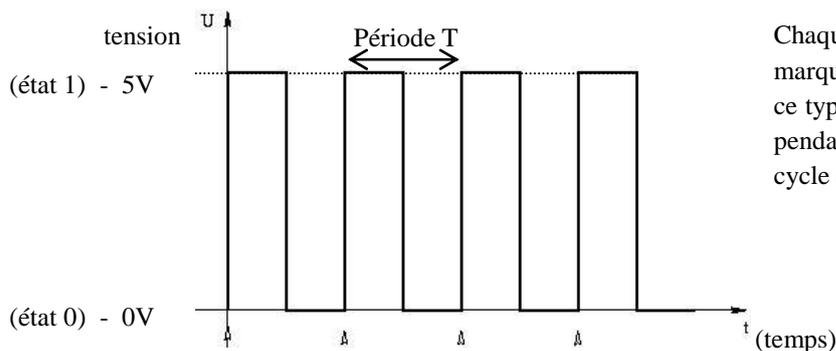
Le **processeur** appelé aussi CPU (Central Processing Unit) est le composant le plus important d'un ordinateur. Il s'agit de son cerveau, et **permet l'exécution des différents programmes informatiques et réalise tous les calculs** nécessaires à son bon fonctionnement.

Processus de traitement. Toutes les opérations qu'il doit effectuer sont stockées dans une file d'attente située dans l'unité de contrôle. Le traitement des informations par le processeur peut se schématiser de la manière suivante:

- le processeur sélectionne la première opération à effectuer dans la file d'attente située dans l'unité de contrôle,
- il effectue ses calculs relatifs à cette opération,
- il envoie le résultat au composant de l'ordinateur souhaité,
- il sélectionne ensuite la nouvelle opération à effectuer en tête de la file d'attente, et ainsi de suite...

La vitesse de traitement des informations est imposée par **l'horloge** dont le rôle est de battre la mesure pour tous les circuits de l'ordinateur.

Fonctionnement de l'horloge. Une horloge est un composant qui émet sur sa sortie un signal périodique généralement carré, comme le montre le schéma suivant:



Chaque flèche sur la figure marque le début d'un cycle. Avec ce type d'horloge, la sortie est à 1 pendant la première moitié du cycle et à 0 pendant la seconde.

Chacun des circuits qui compose l'ordinateur, en particulier les circuits mémoire, se synchronise sur un signal d'horloge.

La fréquence d'horloge, qui est souvent indiquée dans les caractéristiques techniques des ordinateurs, est le nombre de cycles par seconde. Par exemple, quand la fréquence d'horloge est 1 GHz, la période de l'horloge, la longueur d'un cycle est de 1 ns, soit un milliardième de seconde. La fréquence de l'horloge détermine la vitesse à laquelle le processeur fonctionne. Elle désigne le nombre d'opérations que le processeur est capable d'effectuer en 1 seconde et est exprimée en Hertz (Hz). Par exemple, si un processeur a une fréquence de 3 GHz, il peut alors effectuer 3 milliards d'opérations à la seconde ! A chaque cycle de l'horloge, le processeur effectue une opération dictée par l'unité de contrôle dans l'unité arithmétique et logique, ou communique avec les périphérique ou la mémoire

Même si le processeur effectue des opérations à des vitesses extraordinaires, il reste limité, car il n'effectue les calculs qu'un par un. Pour améliorer encore la vitesse de traitement des informations, les processeurs multi-cœurs ont été inventés. Ces processeurs permettent de d'effectuer plusieurs opérations en parallèles. Il existe deux techniques pour obtenir ce type de processeurs:

- **L'HyperThreading** est une technique qui consiste à séparer un cœur physique en deux cœurs logiques. Autrement dit, on simule la présence d'un second cœur afin qu'il puisse exécuter lui aussi des calculs, parallèlement au premier
- **Les processeurs "multi-cœur"** qui sont composés de plusieurs cœurs qui permettent, à fréquence égale de multiplier par autant de cœurs les performances. Avec deux cœurs, les performances sont doublées, avec quatre cœurs, elles sont quadruplées, etc.

Dans la pratique, les performances ne sont pas réellement multipliées. Il faut que le système d'exploitation et les logiciels soient conçus de manière à tirer parti de ce type d'architecture.

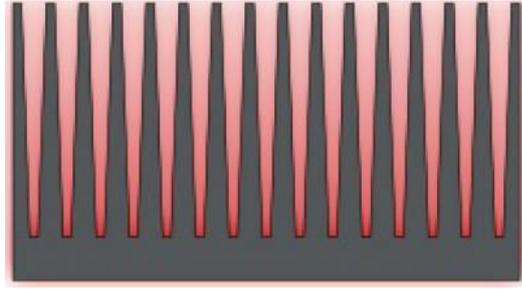
2.4 Ventilateur et radiateur

Lorsqu'un ordinateur fonctionne, il s'échauffe. Ceci est dû à l'effet joule qui est une manifestation thermique de la résistance électrique qui apparaît dans tous les conducteurs traversés par un courant.

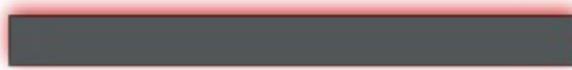
L'effet joule et l'échauffement associé est particulièrement présent dans le processeur. Une trop forte élévation de température diminue les performances de ce dernier. Il est donc nécessaire de le refroidir en permanence tout le long de son utilisation.

Deux techniques sont utilisées conjointement pour évacuer la chaleur produite au sein du processeur:

- un radiateur posé directement sur la surface externe du processeur permet d'améliorer le transfert thermique vers l'extérieur de celui-ci. Un radiateur est composé de plusieurs ailettes très fines disposées parallèlement comme le montre le schéma suivant:



Cette disposition permet d'augmenter grandement la surface de contact entre l'air et le matériau et améliore ainsi le transfert thermique (qui est d'autant meilleur que la surface de contact entre les deux milieux est grande). En effet, la surface de contact entre l'air et le radiateur est plus importante que si ce dernier était tout à fait droit et rectiligne comme un simple parallélogramme par exemple:



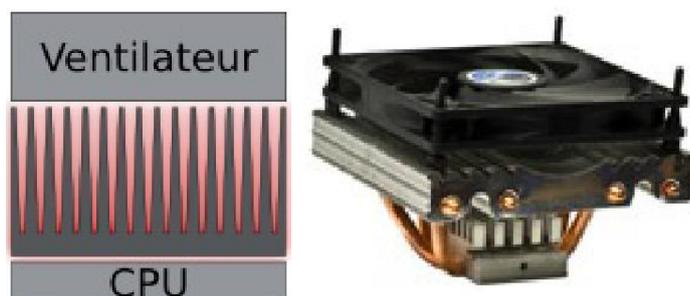
- Pour entretenir en continu le transfert thermique entre le processeur et l'extérieur, il est nécessaire que la température de l'air situé entre les ailettes soit toujours plus faible que la température interne du processeur et des ailettes. En effet, si l'air situé entre les ailettes est à la même température que la surface externe des ailettes, les deux matériaux sont dits en "équilibre thermique" et aucun transfert thermique ne se produit. Une solution pour évacuer l'air chaud entre les ailettes et le renouveler par de l'air froid est d'entretenir un courant d'air à l'aide d'un ventilateur.



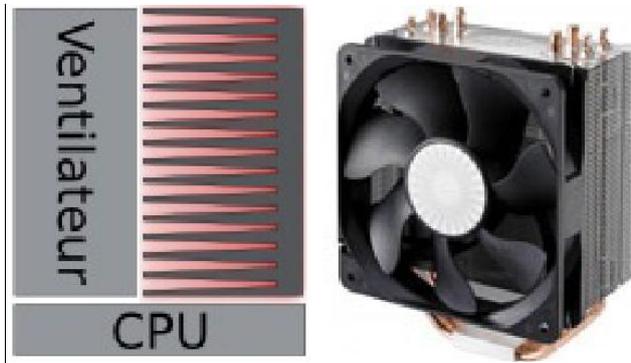
Ainsi, de la même manière qu'on refroidit une tasse de thé en soufflant dessus, on refroidit le radiateur et le processeur en soufflant aussi dessus!

En conclusion, le radiateur améliore le transfert thermique en augmentant la surface de contact entre le processeur et l'extérieur, et le ventilateur permet d'évacuer la chaleur pour entretenir le flux thermique.

Il existe deux montages possibles pour associer le ventilateur et le radiateur:



- ventilateur top-flow :



- ventilateur tower :

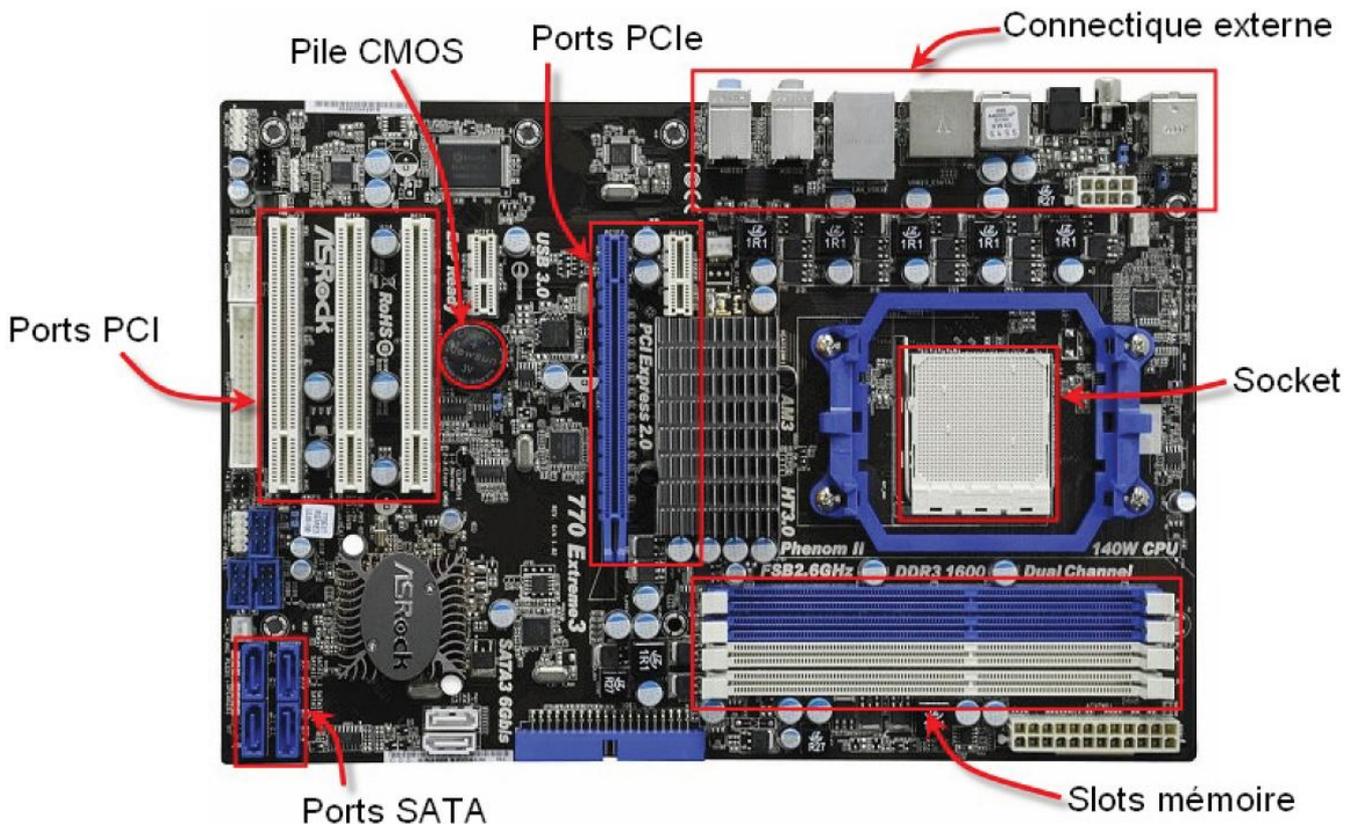
2.5 La carte mère

La carte mère (en anglais « mainboard » ou « motherboard ») est un matériel informatique composé de circuits imprimés et de ports de connexion, servant à interconnecter tous les composants d'un micro-ordinateur tels que la mémoire qui constitue un élément essentiel ou les périphériques externes du micro-ordinateur (disques durs, lecteurs CD, webcam, ports usb, etc.).

Il existe plusieurs formats de cartes en fonction de leur taille:

- ATX : 305×244mm
- micro ATX : 244×244mm
- mini ATX: 170×170 mm

Le format le plus répandu est la carte ATX car il s'agit de la plus grande ce qui facilite l'évacuation de la chaleur. Elle est représentée sur le schéma suivant:



Décrivons tous les éléments de la carte:

- Le **socket** est le socle qui va recevoir le processeur. Ce dernier n'est en effet pas branché directement sur la carte mère mais sur un support qui permet de le brancher plus facilement et avec moins de risque de l'abîmer.
- Le **chipset** (non représenté) est une puce électronique réalisant le transfert de données entre les différents composants de l'ordinateur (processeur, carte graphique, mémoire vive, etc.). Le chipset peut se comparer à un énorme échangeur

d'autoroute (où les voitures représentent les impulsions électriques). Une voiture arrive sur une branche et repart vers sa destination via une autre branche.



Le chipset de la carte mère est généralement constitué de deux puces distinctes (appelées NorthBridge et SouthBridge), chacune ayant son propre rôle. Par exemples, le NorthBridge relie le CPU à la mémoire vive, le SouthBridge relie quant à lui le NorthBridge à l'horloge RTC, etc.

- **La mémoire CMOS RAM et sa pile** permettent de conserver certaines informations telles que la date et l'heure, la configuration de l'ordinateur, etc. même si l'ordinateur est éteint ou débranché.
- **L'horloge** (non représentée) cadence les opérations effectuées par le processeur et également les instructions des autres composants et périphériques internes, tels que le bus système (ou FSB), qui relie le processeur au chipset, le bus mémoire, qui relie la mémoire vive au chipset ou le bus d'extension qui lui s'occupe de faire le lien entre la CPU et les connecteurs d'entrées/sorties.

Les connectiques internes:

- **Les slots de mémoires RAM** permettent d'accueillir les barrettes de mémoire vive qui constitue de la mémoire rapide utilisé par le processeur pour toutes ses opérations. Il en existe 2, 3, 4 ou 6 selon le format de la carte mère.



- **Les ports PCI** permettent de connecter les cartes filles telles que la carte son, la cartes graphique, la carte réseau, etc...



- **Les ports PCIe** sont des ports PCI de nouvelle génération dans lesquels les débits de communication sont doublés par rapport aux ports PCI de première génération. Les débits de données peuvent varier de 500Mo/s pour les ports PCIe 2.0 ×1 (en blanc) à 4Go/s pour les ports PCIe 2.0 ×1 (en bleu).

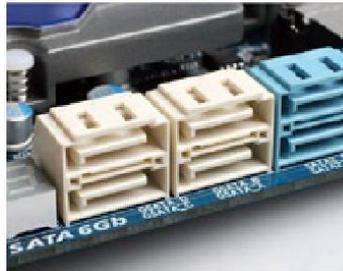


- **Les ports IDE** (non représenté) est une connectique vieillissante permettant d'accueillir des périphériques de stockage (disque dur, graveurs DVD, etc.).

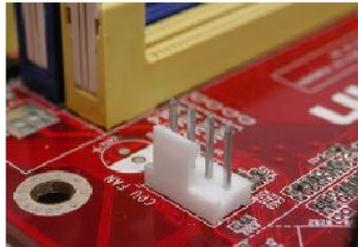


Les larges nappes branchées à ces connecteurs attirent la poussière et gênent la circulation de l'air à l'intérieur du boîtier. Les toutes dernières cartes mères n'en sont donc plus équipées, au profit des ports SATA qui permettent l'utilisation de câbles plus fins.

- **Les ports SATA** remplacent actuellement les ports IDE et permettent aussi d'accueillir des périphérique de stockage (disque dur, graveurs DVD, etc.).



- **La prise d'alimentation des ventilateurs** (non représenté).



Les connectiques externes:

- **Les ports PS2**, utilisés pour les anciens claviers et les vieilles souris.



- **Les ports USB** utilisés pour connecter la souris, le clavier, les webcam, les disques durs externes etc. La norme la plus répandue est l'USB2 en noir (480 Mbit/s, soit 60 Mo/s) mais la récente norme USB3 en bleu (4,8 Gbit/s, soit 600 Mo/s)



- **Les ports FireWire** sont quant à eux utilisés pour les caméscopes dont le transfert de flux vidéo nécessite un débit élevé, et certains disques durs externes.



- Les ports SATA utilisés pour les périphériques de stockage.



- Les ports RJ45 ou port Ethernet utilisés pour connecter un câble réseau Ethernet.



- Les ports audio.



2.6 Les périphériques

Outre un processeur, une mémoire, une horloge et des bus reliant le processeur à la mémoire, un ordinateur est également constitué de périphériques. Nous pouvons citer l'écran, le clavier, la souris, l'imprimante, la webcam, la carte réseau, etc. Ces périphériques permettent d'échanger des informations avec l'extérieur. Ils permettent par exemple une interaction entre l'homme et la machine via l'écran, le clavier, la souris. Ils permettent aussi l'interaction entre ordinateurs via la carte réseau.

On peut grossièrement classer les périphériques en périphériques d'entrée, qui permettent au processeur de recevoir des informations de l'extérieur, et périphériques de sortie, qui lui permettent d'émettre des informations vers l'extérieur. Toutefois, beaucoup de périphériques sont à la fois des périphériques d'entrée et de sortie. Ainsi un écran est a priori un périphérique de sortie, mais un écran tactile est aussi un périphérique d'entrée.

2.7 Le BIOS

Lorsqu'on démarre l'ordinateur, une phase importante consiste en l'initialisation de tous les composants matériels : disque dur, carte graphique, carte son, etc. Tant que leur initialisation n'est pas effectuée, il est impossible d'utiliser ces éléments.

La configuration des composants matériels doit être stockée dans une mémoire autre que le disque dur qui n'a pas encore été initialisé. Cette configuration est donc stockée dans la mémoire morte ou ROM (« Read Only Memory », ce qui signifie « mémoire en lecture seule »). Elle contient notamment un petit programme permettant la gestion du matériel appelé: le BIOS.

Rôle du BIOS

Le BIOS va servir d'interface entre la carte mère, le système d'exploitation et certains composants et périphériques. Il est notamment en charge de l'initialisation des composants matériels et de la vérification de leur bon fonctionnement. Si des problèmes sont détectés, ils sont transmis à l'utilisateur sous forme d'un son ("BIP") émis directement par la carte mère (le matériel n'ayant pas encore été initialisé, les haut-parleurs ne sont pas prêts à être utilisés).

Une fois les étapes d'initialisation du matériel achevées, le BIOS va avoir pour rôle de chercher une séquence d'amorçage afin de lancer le système d'exploitation (Windows ou Linux par exemple). Cette séquence d'amorçage peut se trouver sur le disque dur, sur un support externe ou sur un disque inséré dans le lecteur. Lorsque la séquence d'amorçage est trouvée, le BIOS passe le relai au système d'exploitation.

2.8 Le système d'exploitation

Lorsqu'on utilise un ordinateur on s'aperçoit que si on bouge la souris, le curseur de souris bouge sur l'écran. Ce comportement manifeste donc la présence d'un programme qui interroge en permanence la souris pour connaître sa position et dessine un curseur de souris à l'endroit correspondant de l'écran. De même, il est possible d'utiliser simultanément plusieurs programmes, alors que dans la description que nous avons donnée, le processeur n'exécute qu'un seul programme à la fois. Tous ces comportements sont gérés par un programme spécial lancé dès l'allumage de l'ordinateur: **le système d'exploitation (souvent appelé OS pour Operating System)**. Ce programme, souvent gigantesque, a plusieurs fonctions:

- Il permet l'exécution simultanée de plusieurs programmes, selon le système du temps partagé : le système d'exploitation exécute chacun des programmes à tour de rôle et pendant une courte durée, garantissant à chaque programme que ses données ne sont pas modifiées par les autres. Ainsi même si un programme croit utiliser les cases mémoire 1, 2 et 3, il se

peut qu'il utilise en fait les cases 4097, 4098, 4099, car le système d'exploitation a réservé les véritables cases 1, 2 et 3 pour un autre programme.

- Il gère tous les périphériques. Par exemple, pour imprimer un caractère sur l'écran, il n'est pas nécessaire d'allumer chaque pixel l'un après l'autre, mais on peut demander au système d'exploitation d'afficher un « A » et celui-ci traduira cette instruction en une suite d'instructions qui afficheront un « A » pixel par pixel. La partie du système d'exploitation qui gère un périphérique s'appelle un pilote.
- Il gère toute la mémoire: le disque dur, son découpage en fichiers, l'attribution d'un nom à chaque fichier, et leur organisation arborescente.
- Il gère aussi l'écran, c'est-à-dire son découpage en fenêtres, l'ouverture et la fermeture des fenêtres.
- Dans certains systèmes utilisés par plusieurs personnes, il gère l'authentification de chaque utilisateur et les droits, en particulier de lecture et d'écriture des fichiers, associés à chacun d'eux.

Il existe plusieurs systèmes d'exploitation : Unix, Linux ou GNU/Linux, Windows, MacOS, etc. Toutefois, le développement d'un système d'exploitation est une tâche si coûteuse en temps, qu'il n'existe guère plus d'une dizaine de systèmes d'exploitation réellement utilisés.